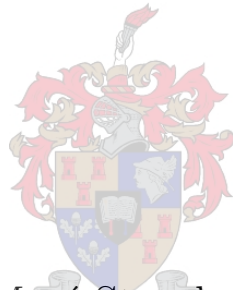


Groener handelsroetes in die lynskeepsvaartbedryf



Nic-Maré Steenkamp

Tesis aangebied ter vervulling van die vereistes vir die graad van
M.Comm (Kwantitatiewe Bestuur)
by Departement Logistiek, Universiteit Stellenbosch

Verklaring

Deur hierdie tesis elektronies in te lewer, verklaar ek dat die geheel van die werk hierin vervat, my eie, oorspronklike werk is, dat ek die alleenouteur daarvan is (behalwe in die mate uitdruklik anders aangedui), dat reproduksie en publikasie daarvan deur die Universiteit van Stellenbosch nie derdepartyregte sal skend nie en dat ek dit nie vantevore, in die geheel of gedeeltelik, ter verkryging van enige kwalifikasie aangebied het nie.

Maart 2017

Abstract

This thesis presents a study on the environmental impact that the design of trade routes and fleet mix in the liner shipping industry has on the carbon emissions from operations. The optimal design of routes and determining the fleet mix for future needs is probably the most important decision for shipping companies to make. It gives companies the opportunity to reduce their environmental footprint that makes it possible to be more profitable and sustainable at the same time. Sustainability is a reality that has become one of the main focal points for many enterprises in the last decade.

ANL is an international liner shipping company and is owned by CMA CMG, currently the third largest international liner shipping company in the world. CMA CMG is concerned about the environmental impact of their operations and dedicated in their efforts to reduce it. The objective of the study is to support ANL in the process to reduce their carbon emissions and thus contributing to CMA CMG's struggle against air pollution. An optimization model is developed and implemented on ANL's data. The model exploits the environmental benefits of a heterogeneous fleet on existing trade routes.

The output of the optimization model suggests that ANL has the potential to improve the carbon efficiency of operations in their current situation. This requires that service frequency and capacity utilization of ships must be kept constant while taking into account all the physical limitations and features present within the liner shipping environment. The model identifies operational adjustments to be made for a greener future and support ANL's decision-making process in preparation for future economic prospects.

Opsomming

Hierdie tesis bied 'n studie oor die impak wat die ontwerp van handelsroetes en die samestelling van 'n vloot in die linskeepsvaartindustrie het op die koolstofvrystellings van operasionele bedrywighe. Om die optimale roetes te ontwerp en samestelling van 'n vloot te bepaal vir toekomstige behoeftes is waarskynlik die belangrikste besluit wat skeepvervoerondernemings moet maak. Dit bied aan ondernemings die geleentheid om hul omgewingsvoetspoor te verminder wat dit moontlik maak om meer winsgewend en volhoubaar op dieselfde tyd te wees. Volhoubaarheid is 'n werklikheid wat in die laaste dekade een van die hooftokuspunte in baie ondernemings geword het.

ANL is 'n internasionale linskeepsvaartonderneming en word besit deur CMA CMG, tans die derde grootste internasionale linskeepsvaartonderneming ter wêreld. CMA CMG is besorgd oor die omgewingsimpak van hulle bedrywighe en toegewyd in hul poging om dit te verminder. Die objektief van die studie is om ANL te ondersteun in die proses om hul koolstofvrystellings te verminder en by te dra tot CMA CMG se stryd teen lugbesoedeling. 'n Optimeringsmodel word ontwikkel en geïmplementeer op ANL se data. Die model ondersoek die omgewingsvoordele van 'n heterogene vloot op bestaande handelsroetes.

Die afvoer van die optimeringsmodel dui daarop dat ANL die potensiaal het om die koolstofdoeltreffendheid van operasionele bedrywighe te kan verbeter binne die huidige situasie. Dit wil sê deur diensfrekwensie en kapasiteitsbenutting van skepe konstant te hou terwyl alle fisiese beperkings en teenwoordige funksies in die linskeepsvaartomgewing in ag geneem word. Die model identifiseer operasionele aanpassings wat gemaak moet vir 'n groener toekoms en ondersteun ANL se besluitnemingsproses tydens voorbereiding vir toekomstige ekonomiese vooruitsigte.

Inhoudsopgawe

Lys van Figure	vii
Lys van Tabelle	ix
1 Inleiding	1
2 Agtergrond	5
2.1 ANL	5
2.2 CMA CGM se doelwit	6
2.3 Insentief om groen te wees	6
2.4 Samevatting	7
3 Probleemstelling	9
3.1 Die doel van studie	9
3.2 Lynvaartomgewing	11
3.3 Probleembeskrywing	16
4 Literatuurstudie	17
4.1 Kwantitatiewe Bestuur in die algemeen	17
4.2 Klassifikasie skema	18
4.3 ANL se eienskappe	20
4.4 Relevante literatuur	21
4.5 'n Voorbeeld van hoe roetes geoptimeer kan word	23

5	Wiskundige Model	27
5.1	Aannames	27
5.2	Roeteontwerpmodel	29
5.3	Skeduleringsmodel	31
6	Implementering	33
6.1	Data insameling	33
6.2	Sagteware en sintaks	34
6.3	Verifieer resultate	37
6.4	Betroubaarheid van resultate	41
7	Resultate	43
7.1	Roeteontwerpmodel	43
7.2	Skeduleringsmodel	47
7.3	Sensitiwiteit van model	48
7.4	Volle potentiaal van model	52
8	Gevolgtrekking	57
8.1	Omgewingsvriendelike pogings	57
8.2	Objektiewe behaal	61
8.3	Toekomstige werk	63
8.4	Praktiese ondervinding	66
A	ANL Handelsroetes	73
B	Elektroniese gids	83

Lys van Figure

1.1	Indekse vir die wêreld BBP, wêreldhandel en internasionale verskeping. . .	1
1.2	Toename in atmosferiese CO ₂	2
1.3	Houerskepe se bydrae tot totale besoedeling deur die maritieme industrie. .	3
2.1	Toename in ANL se verskeppingsvolume.	5
2.2	CMA CGM se CO ₂ emissie doelwit vir 2015.	6
3.1	Die verhouding tussen enjin krag en brandstofverbruik	10
3.2	Handelsroete AANA grafies voorgestel.	14
3.3	Ligging van hawens waaruit ANL se handelsroetes bestaan.	15
4.1	Handelsroetes bestaande uit 'n kombinasie van subroetes.	22
4.2	Subroetes in die voorbeeld handelsroete.	24
6.1	Formaat van data in Excel	34
6.2	Uitspreiding van skepe op 'n boog tussen hawens.	40
6.3	Plasing van skepe in sisteem	41
7.1	Die verhouding tussen kapasiteitsbenutting en die aantal ritte wat deur elke tipe skip voltooi moet word.	49
7.2	Verhouding tussen kapasiteitsbenutting van skepe en gram CO ₂ vrygestel. .	54
8.1	Jaarmodel van skepe in ANL se vloot	58
8.2	ANL se vloot samestelling	58
8.3	Beter tegnologie en die beskerming van die omgewing [23].	59
8.4	Die omgewingsvriendelike potensiaal van ANL	60
8.5	CMA CGM se bamboes-vloer houer [24].	61
8.6	Hanteringstoerusting van hawens	64
8.7	Verskil in windrigting, windsterkte en golfhoogte gedurende die jaar. . . .	65

Lys van Tabelle

3-1	Verskillende tipe houer-skepe waaruit ANL se vloot bestaan.	11
3-2	Opsomming van ANL se handelsroetes.	13
4-1	Klassifikasie van literatuur volgens eienskappe relevant tot ANL se netwerk.	23
4-2	Nommers toegeken aan hawens van voorbeeld handelsroete.	24
4-3	Kapasiteit gebied op oorspronklike handelsroete.	25
4-4	Kapasiteit gebied op hersiende handelsroete.	25
4-5	Totale gram CO ₂ vrygestel deur oorspronklike handelsroete.	26
4-6	Totale gram CO ₂ vrygestel deur hersiende handelsroete.	26
6-1	Inligting beskikbaar oor handelsroete AANA.	38
6-2	Tydperiodes waarop die vragte van roeteontwerp model se ritte beskikbaar word om vervoer te word.	39
7-1	ANL en die omgewingsimpak van huidige operasionele bedrywighede. . . .	44
7-2	Moontlike vermindering in die omgewingsimpak van ANL se diensnetwerk .	45
7-3	Aantal ritte wat tans voltooi word deur elke tipe skip op die handelsroetes.	46
7-4	Aantal ritte wat voltooi moet word deur elke tipe skip volgens die hersiende ontwerp van handelsroetes.	46
7-5	Skeduleringsmodel se resultate	48
7-6	Sensitiwiteit van die roeteontwerpmodel	49
7-7	Wêreld ekonomiese verwagte vooruitsigte	51
7-8	Omgewingsvriendelike potensiaal van ANL.	52
7-9	Die optimale vermindering in omgewingsimpak van ANL se diensnetwerk .	53
8-1	Seerowery en gewapende aanvalle	67
8-2	Seerowery en gewapende aanvalle op tipe skepe	67

Lys van Aanbiedings

6.1	Die geïmplementeerde roeteontwerpmodel	35
6.2	Die geïmplementeerde skeduleringsmodel	36
6.3	Roete ontwerp model se afvoer met handelsroete AANA.	38
6.4	Skeduleringsmodel se afvoer met handelsroete AANA.	40

Lys van Akronieme

ANL Australian National Line

BBP Bruto Binnelandse Produk

CMA CGM Compagnie Maritime d’Affretement Compagnie Generale Maritime

CO₂ koolstofdioksied

DWT dravermoë van skepe in ton

ECA Emissie Beheerde Areas

IMO Internasionale Maritieme Organisasie

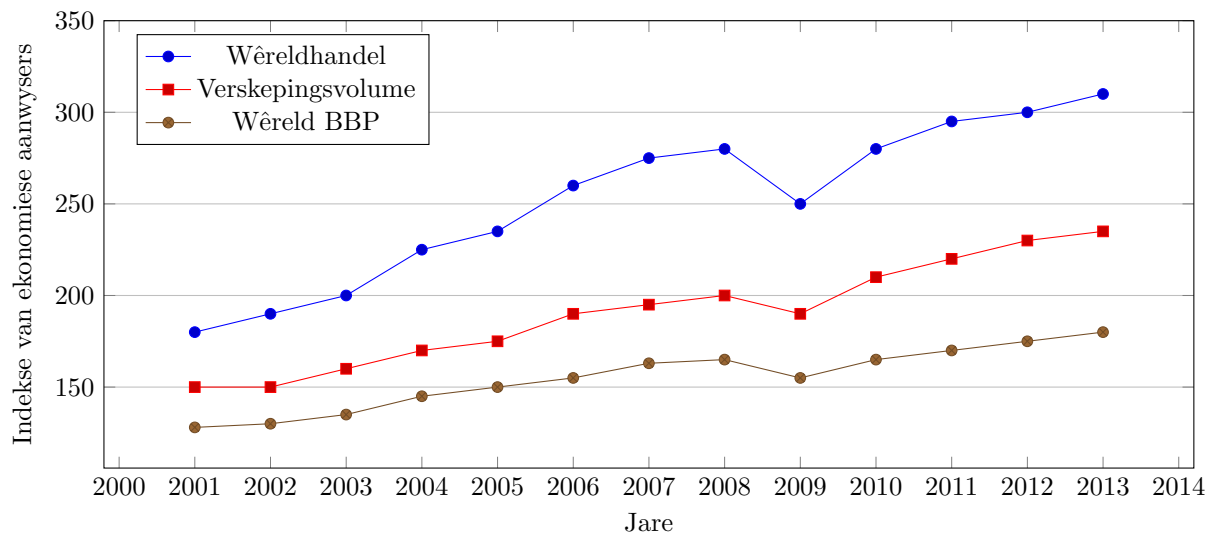
KB kapasiteitsbenutting

TEU twiting voet ekwivalente houer

HOOFSTUK 1

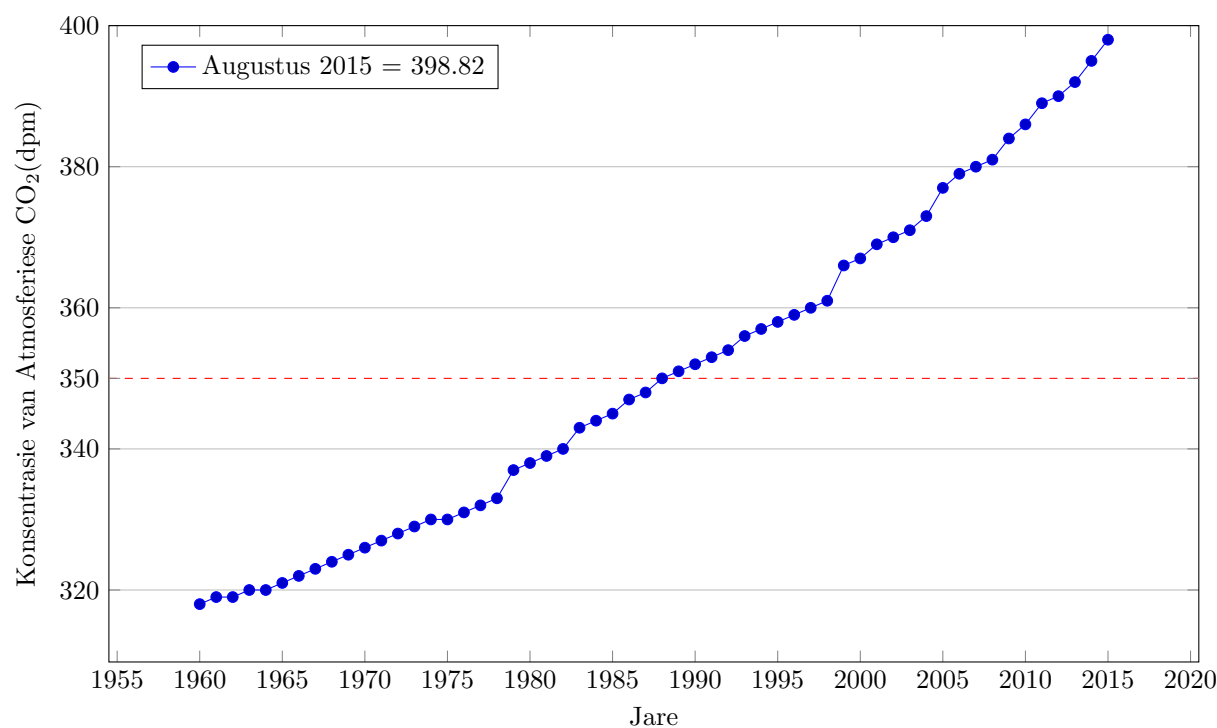
Inleiding

Maritieme vervoer speel 'n groot en belangrike rol in die wêreld ekonomie. Meer as 90% van die wêreld se handelsvolume word deur middel van skepe vervoer [19]. Die toenemende groei van die wêreldpopulasie, 'n toename in globalisering en die uitputting van hulpbronne het 'n toename in wêreldhandel tot gevolg [22]. Die vraag na vervoer in die maritieme industrie is byna perfek gekorreleer met globale ekonomiese ontwikkeling en produktiwiteit. Dit wil sê die vraag na skeepkapasiteit word afgelei van die vraag na ton goedere. Die tariewe van skepe weerspieël dus die beskikbare ton goedere wat vervoer moet word. Dit het tot gevolg dat wanneer die wêreldvloot se kapasiteit vinniger toeneem as wat die Bruto Binnelandse Produk (BBP) groei, sal tariewe daal. Aan die ander kant: wanneer die toename in die BBP relatief groter is as die toename in die wêreldvloot se kapasiteit, sal tariewe styg. Figuur 1.1 dui aan hoe die wêreldhandel, wêreld BBP en die maritieme industrie in samehang beweeg.



Figuur 1.1: Indekse vir die wêreld BBP, wêreldhandel en internasionale verskeping [22].

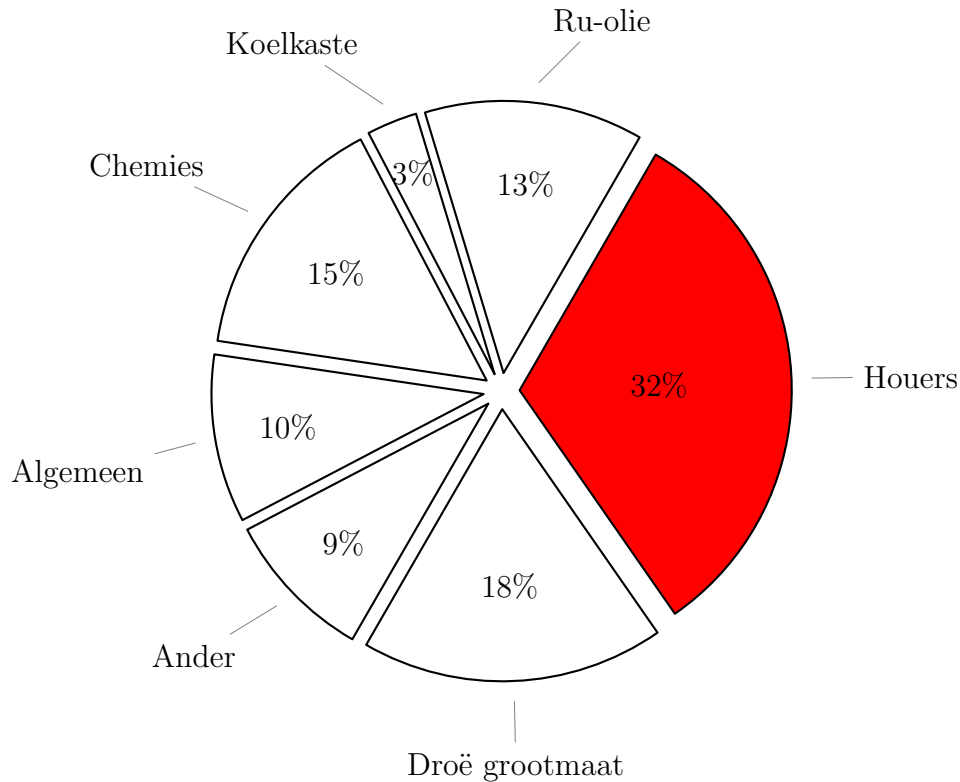
Die maritieme industrie het 1.04 biljoen ton koolstofdioksied (CO_2) gasse afgeskei in 2007. Dit dra by tot 3.3% van totale globale CO_2 gasse wat vrygestel word. Uit die 1.04 biljoen ton CO_2 gasse was 870 miljoen ton vrygestel deur internasionale lynvaart. Internasionale lynvaart dra dus 2.7% by tot die totale globale afskeiding van CO_2 gasse. Indien hierdie bydrae toeneem volgens die verwagte toename in wêreldhandel, sal dit tot gevolg hê dat internasionale lynvaart teen 2050 tussen 12% en 18% sal bydra tot die afskeiding van CO_2 . Die toename in die afskeiding van CO_2 kan onomkeerbare klimaatsveranderinge tot gevolg hê. Klimaatsveranderinge kan bestuur word deur die atmosferiese konsentrasie van hitte absorberende gasse soos CO_2 te stabiliseer op 'n vlak van 350 dele per miljoen [31]. Figuur 1.2 dui aan hoe die stabiele vlak van hitte absorberende gasse in die atmosfeer reeds sedert 1990 oorskrei word en steeds besig is om toe te neem.



Figuur 1.2: Toename in atmosferiese CO_2 [31].

Die oplossing vir volhoubaarheid is egter nie uniek nie omdat ondernemings verskil ten opsigte van besigheidsmodelle en operasionele bedrywighede. Deur die maritieme industrie te katagoriseer volgens die manier waarop die skepe bedryf word kan daar oorhoofs tussen drie bedryfsportefeuljes onderskei word, naamlik: industrieel, huur en lynvaart [21]. Industriële vervoer is wanneer die skip en die vrag op die skip dieselfde eienaar het. Die huur van skepe werk op dieselfde beginsel as huurmotors waar bote beskikbare vragte volg in die mark en lynvaart is skepe wat op vaste roetes en skedules bedryf word, soorgelyk aan busdienste. Hierdie 3 algemene bedryfsportefeuljes is nie eksklusief nie, 'n skip kan volgens 'n kombinasie van die portefeuljes bedryf word.

ANL is 'n linskeepsvaartonderneming wat slegs houters vervoer. In waarde word 70% van wêreldhandel se vragte op hierdie basis vervoer [22]. Houterskepe verteenwoordig 13,3% van die wêreldvloot in terme van die dooie gewig in ton wat dit kan dra. Figuur 1.3 dui aan dat houterskepe verantwoordelik is vir 32% van die besoedeling wat deur die wêreldvloot genereer word [34]. ANL is om hierdie rede 'n belangrike tipe onderneming om op te fokus wanneer volhoubare oplossings vir die toename in atmosferiese CO₂ gesoek word.



Figuur 1.3: Houterskepe se bydrae tot totale besoedeling deur die maritieme industrie [34].

Sedert 1980 met die begin van behouering van vragte het die gebruik van houters 'n agtvoudige toename ondergaan. Terwyl daar baie veranderinge plaasvind in die maritieme industrie, het min van die ondernemings in die skeepsvaartbedryf die nodige aanpassings in hulle besigheidsmetodes gemaak. Die maritieme industrie is baie konserwatief in die sin dat baie besighede staat maak op aanvoeling en kwalitatiewe evaluasies van ervare analiste met die bepaling van hulle langtermyn beleggingstrategieë. Die bepaling van die optimale vlootgrootte en die mengsel van die vloot vir toekomstige behoeftes is heel waarskynlik die belangrikste besluit van enige skeepvervoeronderneming, dit is ook die mees komplekse besluit. Dit kom daarop neer dat volhoubaarheid nie noodwendig die implementering van innoverende tegnologieë verg nie. Organisasies kan begin deur die manier waarop die besigheid se kapasiteit bestuur word, te heroorweeg.

Die doel van hierdie tesis is om ANL se vlootgrootte en samestelling deur middel van kwantitatiewe metodes te hersien. Dit word gedoen om vas te stel of die omgewingsimpak van operasionele bedrywighede in die huidige situasie verminder kan word. Die omvang van die werkstuk word beperk tot die ontwikkeling van die oplossingsmetode met 'n hoof fokus op die ontwikkeling van 'n optimeringsmodel wat spesifiek die eienskappe van ANL se lynvaartomgewing in ag neem. Die doelwit van die tesis gaan behaal word deur te streef daarna om die volgende objektiewe te bereik.

Objektief 1

- a) Identifiseer en verstaan die eienskappe en natuur van ANL se lynvaartomgewing.

Objektief 2

- a) Bepaal 'n benadering tot die oplossingsmetode vir die minimering van CO₂ emissies.
- b) Bepaal en versamel die data wat nodig is vir die oplossingsmetode.

Objektief 3

- a) Formuleer die oplossingmetode wiskundig en implementeer die model.

Objektief 4

- a) Vergelyk die resultate van die model met werklike operasionele bedrywighede.
- b) Ondersoek die toekomstige bydrae van die model tot die beskerming van die omgewing.

Objektief 5

- a) Maak aanbevelings aan ANL hoe om die impak van huidige operasionele bedrywighede te verminder op grond van die model se resultate.
- b) Maak aanbevelings vir toekomstige uitbreidings aan die model.

Voordat ANL se vlootgrootte en samestelling hersien gaan word, gaan ANL se agtergrond en die insentief agter die soektog na volhoubare oplossings in Hoofstuk 2 bespreek word. Die probleem word beskryf in Hoofstuk 3, wat gevolg word deur 'n literatuurstudie oor soortgelyke probleme in Hoofstuk 4. Die model gaan aangebied word in Hoofstuk 5 waarna die implementering van die model in Hoofstuk 6 bespreek gaan word. Laastens gaan die resultate in Hoofstuk 7 bespreek word waarna die tesis afgesluit word met kern gedagtes en aanbevelings vir toekomstige werk in Hoofstuk 8.

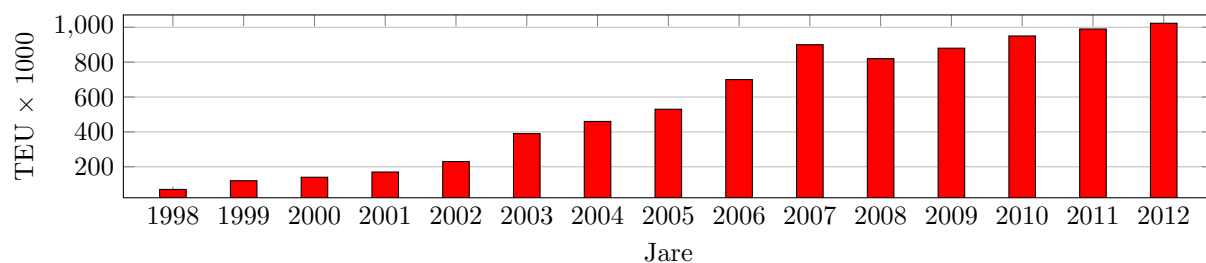
HOOFSTUK 2

Agtergrond

In hierdie hoofstuk word daar na ANL se agtergrond in Afdeling 2.1 gekyk waarna ANL se volhoubaarheidsdoelwit, as deel van die CMA CGM groep, in Afdeling 2.2 bespreek word. Die insentiewe agter die doelwit word in Afdeling 2.3 gedek. Die hoofstuk sluit af met 'n samevatting in Afdeling 2.4.

2.1 ANL

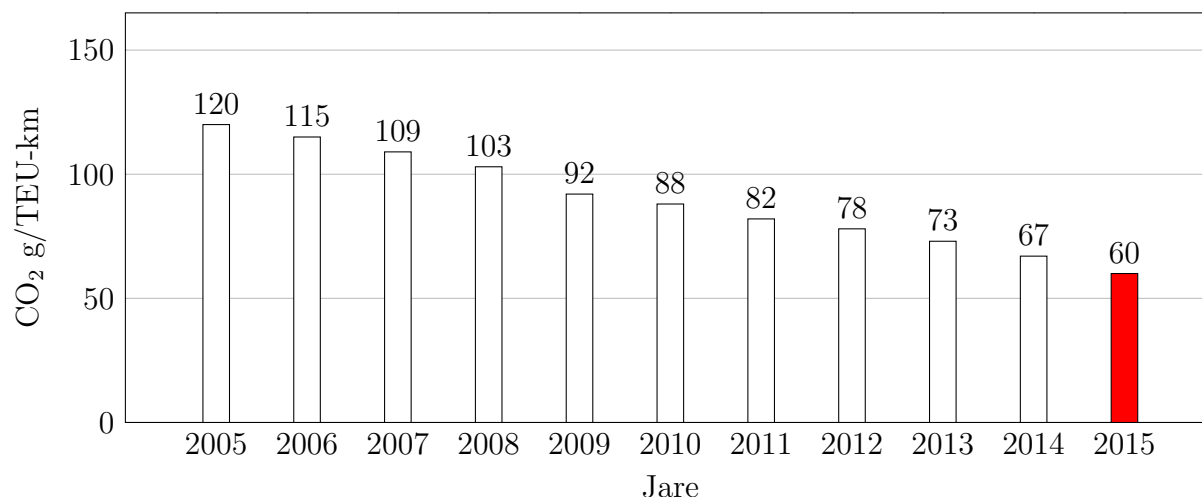
Australian National Line (ANL) is 'n internasionale lynvaart houer-skeepsredery. Die geskiedenis van ANL dateer terug na 1956 toe dit gestig was deur die Australiese Regering om die verskeppingsdienste rondom die kus van Australië te bedryf. Oor tyd het ANL op addisionele roetes begin verskeep tot hulle later internasionale handelsroetes betree het. Compagnie Maritime d'Affretement Compagnie Generale Maritime (CMA CGM), die derde grootste houer-skeepsredery ter wêreld, herken toe die waarde van ANL en koop dit oor by die Australiese Regering in 1998. Hiervandaan was ANL opgebou en uitgebrei onder die bestuur van die CMA CGM Groep. Figuur 2.1 dui aan hoe die volumes wat deur ANL verskeep word, aanhoudend gegroei het vanaf 70 000 twiting voet ekwivalente houters (TEU) in 1998 tot oor die 1 023 000 TEUs in 2012 [23].



Figuur 2.1: Toename in ANL se verskeppingsvolume [23].

2.2 CMA CGM se doelwit

Skeepvervoer is meer omgewingsvriendelik as lug-, pad- en treinvervoer omdat dit minder CO₂ per kilometer afskei [39]. Die uitbreiding daarvan lei egter onvermydelik na 'n toename in brandstofverbruik. Dit dra by tot die vermindering van fossielbrandstowwe en 'n toename in die afskeiding van kweekhuysgasse. Die CMA CGM groep is 'n sosiale verantwoordelike onderneming met 'n visie om onberispelik te wees wanneer dit kom by die beskerming van die omgewing en mariene habitat. Die groep het sosiale beleide in plek sedert 2003 en gedurende die laaste elf jaar het die onderneming konsekwent ambisieuse doelwitte gestel en dit bereik [24]. CMA CGM se doelwit vir 2015 is om CO₂ emissies tot 50% vanaf 2003 se emissie vlakke per houer per kilometer te verminder. Hierdie vermindering in die omgewingsimpak van bedrywighede sal innovasie en operasionele aanpassing verg. Die groep beoog om hierdie doelwit te behaal deur te belê in groter kapasiteit skepe en roete optimering. Figuur 2.2 dui aan hoe die CMA CGM groep jaar op jaar daarin slaag om hulle koolstofdoeltreffendheid te verbeter. In lyn met die onderneming se verbinding aan die omgewing en volhoubare ontwikkeling dra ANL, as deel van die CMA CGM groep, aktief by tot die stryd teen aardverwarming deur hulle omgewingsvoetspore te verminder.



Figuur 2.2: CMA CGM se CO₂ emissie doelwit vir 2015 [23].

2.3 Insentief om groen te wees

Skepe genereer uitlaatgasse as 'n resultaat van die brandstof wat deur die enjins verbrand word. Hierdie uitlaatgasse sluit hoofsaaklik in: koolstofdioksied (CO₂), swaweldioksied (SO₂) en stikstofoksied (NO). Skepe kan baie lugbesoedeling veroorsaak in areas met

hoë mariene verkeer. Daarom is daar al vele aksies in die laaste jare onderneem om lugbesoedeling deur skepe te verminder. Meeste van hierdie aksies word geïmplimenteer deur die Annex VI van die Internasionale Konvensie vir die Voorkoming van Besoedeling deur skepe, ook bekend as MARPOL. Dit is 'n internasionale ooreenkoms wat ontwikkel is deur die Internasionale Maritieme Organisasie (IMO) wat internasionale wetlike standaarde stel om spesifieke gasse wat deur skepe gegenereer word, te reguleer [40]. Die standaard is strenger in Emissie Beheerde Areas (ECA), byvoorbeeld die swawel inhoud van skepe se brandstof word wêreldwyd beperk tot 3.5% maar in ECAs moet die swawel inhoud van die brandstof reeds 1% wees. Hierdie ECAs sluit in die oossee, noordsee, Noord-Amerika en die Karibiese Eilande.

'n Goeie insentief vir skeepsrederye om pogings aan te wend om die omgewing te beskerm deur te belê in meer energie doeltreffende skepe en die optimering van netwerkontwerp, is dat brandstofkoste in die proses verminder kan word. Hierdie insentief raak al hoe groter soos wat die prys van brandstof toeneem, deels as gevolg van die skoner brandstof vereistes wat voorgestel word deur MARPOL Annex VI. Hierdie wette vereis dat die swawel inhoud van brandstof wêreldwyd van 3.5% verminder moet word na 0.5% teen 1 Januarie 2020. Dit sal tot gevolg hê dat die koste van brandstof vir die wêreldvloot tussen R500 biljoen en R100 biljoen per jaar gaan toeneem. In ECAs is daar reeds 'n byna 50% toename in brandstofkoste omdat die swawel inhoud van brandstof 1% moet wees sedert 1 Januarie 2015 [26].

2.4 Samevatting

In hierdie tesis word 'n studie gedoen om vas te stel tot watter mate kwantitatiewe bestuur ANL kan ondersteun in die proses om die omgewingsimpak van operasionele bedrywighede te verminder. Dit word gedoen deur kwantitatiewe modelle te skryf wat ANL se huidige netwerkontwerp so realisties as moontlik weerspieël. Die model word dan gebruik om vas te stel of/hoe die ontwerp van die netwerk verander en aangepas kan word om lugbesoedeling te verminder. Voordat ANL se netwerkontwerp hersien kan word deur middel van kwantitatiewe modellering, moet al die funksies en vereistes wat teenwoordig is in die lynvaartomgewing eers hersien word. Hierdie probleem word deeglik uiteengesit in die volgende hoofstuk.

HOOFSTUK 3

Probleemstelling

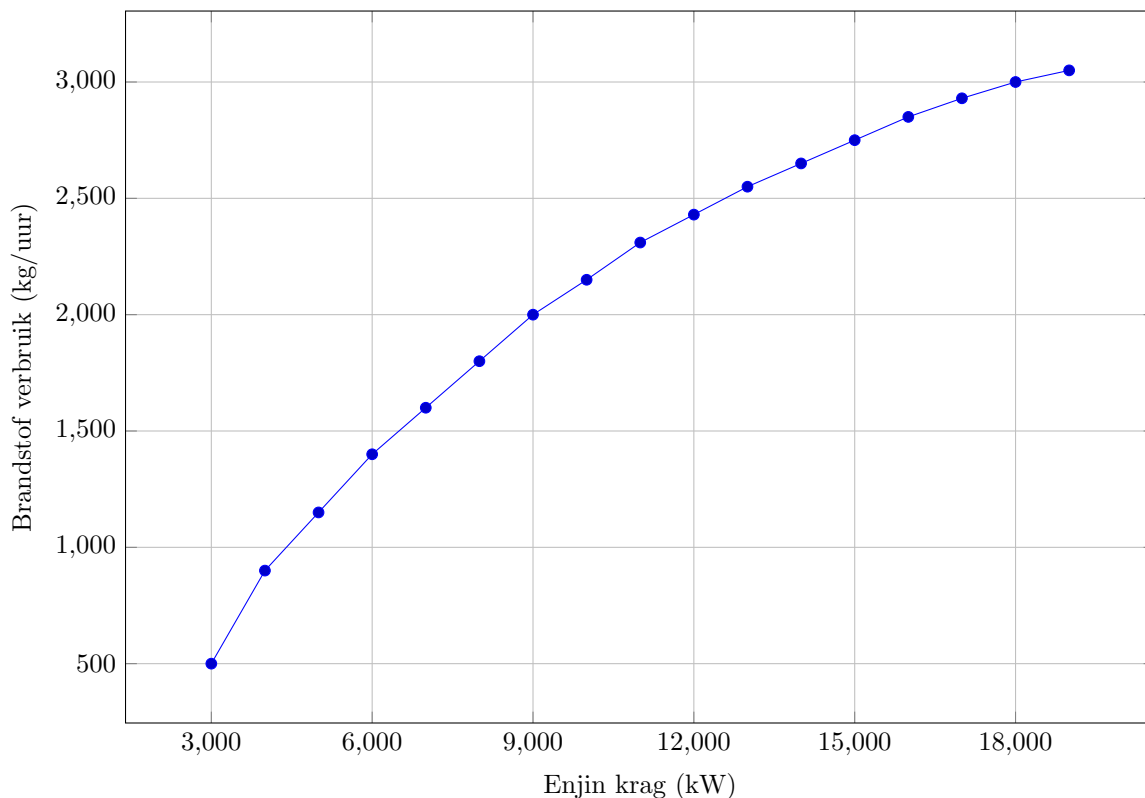
In hierdie hoofstuk word die motivering agter- en doel van die studie in Afdeling 3.1 uiteengesit. In Afdeling 3.2 word die voorsieningsketting waarbinne lynvaart plaasvind bespreek asook beskikbare data oor ANL se huidige operasionele bedrywighede aangebied.

3.1 Die doel van studie

Die vinnige toename van kweekhuiskasse in die atmosfeer lei tot klimaatsveranderinge, hoofsaaklik die toename in temperature, wat die mensdom direk beïnvloed. Die grootte en globale omvang asook die verwagte groei in lynvaart maak daarvan 'n belangrike industrie om voortdurend te poog om die omgewingsimpak daarvan te minimeer. Dit vereis van lynvaartondernemings om te belê in meer energie doeltreffende skepe, om duurder maar skooner brandstof te gebruik en hul netwerkontwerp te optimeer. Hierdie werkstuk hersien ANL se netwerkontwerp om vas te stel of lugbesoedeling verminder kan word gegewe die huidige situasie. Die hooffokus van die tesis sal wees om die CO₂ gasse te bestudeer omrede dit nie verband hou met die gehalte van die brandstof of die tipe enjin wat gebruik word nie. CO₂ gasse wat afgeskei word, word bereken met brandstofverbruik as die hoof inset. Brandstofverbruik is 'n funksie van die kapasiteit van die skip se dravermoë wat benut word en die spoed waarteen die skip vaar [32].

Daar is basies 4 intervale van spoed waarteen houterskepe vaar: normale spoed, “slow steaming”, “super slow steaming” en minimale koste spoed. Die normale spoed, ook die vinnigste spoed, waarteen houterskepe kan vaar is 20-25 knope (37.0-46.3 km/h). “Slow steaming” vind teen 'n spoed van 18-20 knope (33.3-37.0 km/h) plaas. Dit verminder brandstofverbruik ten koste van skepe wat langer neem om handelsroetes te voltooi.








Wanneer skepe langer neem om handelsroetes te voltooi verg dit dat meer skepe op die handelsroetes geplaas moet word om die diensvereiste van kliënte op die handelsroetes na te kom. Die diensvereiste verwys na die tydinterval in dae tussen opeenvolgende skepe se besoek aan hawens wat deur die kliënte op die handelsroetes vereis word. Meer as 50% van die wêreldvloot se houterskepe vaar binne die “slow steaming” interval sedert 2011. “Super slow steaming” vind teen ’n spoed van 15-18 knope (27.8-33.3 km/h) plaas en minimale koste spoed strek van 12-15 knope (22.2-27.8 km/h). ’n Spoed laer as die minimale koste interval sal nie addisionele reduksies in brandstofkoste of vrystelling van CO₂ gasse tot gevolg hê nie. Dit is dus die stadigste spoed waarteen houterskepe vaar [33]. Die rede waarom die spoed waarteen skepe vaar die brandstofverbruik beïnvloed is omdat skepe se enjins moet meer krag (kW) genereer om teen ’n hoër spoed te vaar. Die verhouding tussen die krag wat skepe se enjins genereer teenoor die brandstofverbruik wat daarmee gepaard gaan, word in Figuur 3.1 aangedui.



Figuur 3.1: Die verhouding tussen enjin krag en brandstofverbruik [32].

Die verskillende tipe skepe wat in ANL se vloot voorkom, word in Tabel 3-1 voorgestel. Hierdie tabel dui aan die kapasiteit van die tipe skepe in aantal houters (TEU), die dra vermoë van skepe in ton (DWT) en die gram koolstofdioksied wat elke tipe skip per kilometer vrystel. Data in verband met die brandstofverbruik van die verskillende grootte skepe is bekom deur die internasionale opname wat uitgevoer is deur die Nederlandse

Maritieme Universiteit in Maart 2014 [27]. Die brandstofverbruik van die skepe word dan as die hoof inset gebruik tydens die berekening van die gram CO₂ wat deur elke tipe skip afgeskei word per kilometer. ANL vaar gemiddeld teen 12 knope op al die handelsroetes en die gemiddelde kapasiteitsbenutting (KB) van skepe is 80%. Hierdie waardes is ingereken met die berekening van die gram CO₂ wat elke tipe skip per kilometer afskei.

Tipe Skepe	Relatiewe grootte	TEU	DWT	gCO ₂ /km
Small Feeder		1 000	50 638	12.30
Feeder		2 000	53 644	10.61
Feedemax		3 000	56 968	10.93
Panamax		5 100	64 407	9.67
Post Panamax		10 000	115 572	5.39
New Panamax		14 500	159 737	3.90
ULCV		18 000	196 457	3.17

Tabel 3-1: Verskillende tipe houer-skepe waaruit ANL se vloot bestaan [41].

3.2 Lynvaartomgewing

Om die probleem realisties te benader is dit krities om in gedagte te hou dat lynvaart deel vorm van 'n groot en komplekse voorsieningsketting. Dit wil sê 'n verandering in die verskepingdienste wat gelewer word affekteer besighede op en af in die logistieke ketting. Enkele voorbeelde sluit in:

1. Die grootte van die vereiste tydinterval tussen opeenvolgende skepe beïnvloed die voorraadbeheerstelsels van vervaardigers wat in effek die vraag na koolstof intensiewe infrastrukture soos pakhuis affekteer. 'n Groter tydinterval tussen opeenvolgende skepe sal tot gevolg hê dat die vraag na pakhuis toeneem.
2. Die gebruik van groter skepe is meer brandstofdoeltreffend omdat die weerstand van water nie in verhouding toeneem met die grootte van die skip of die gewig van die vrag nie. Groter skepe vereis egter dat hawens dieper moet wees en moet beskikbaar oor die nodige hanteringstoerusting wat die groter skepe kan akkomodeer.

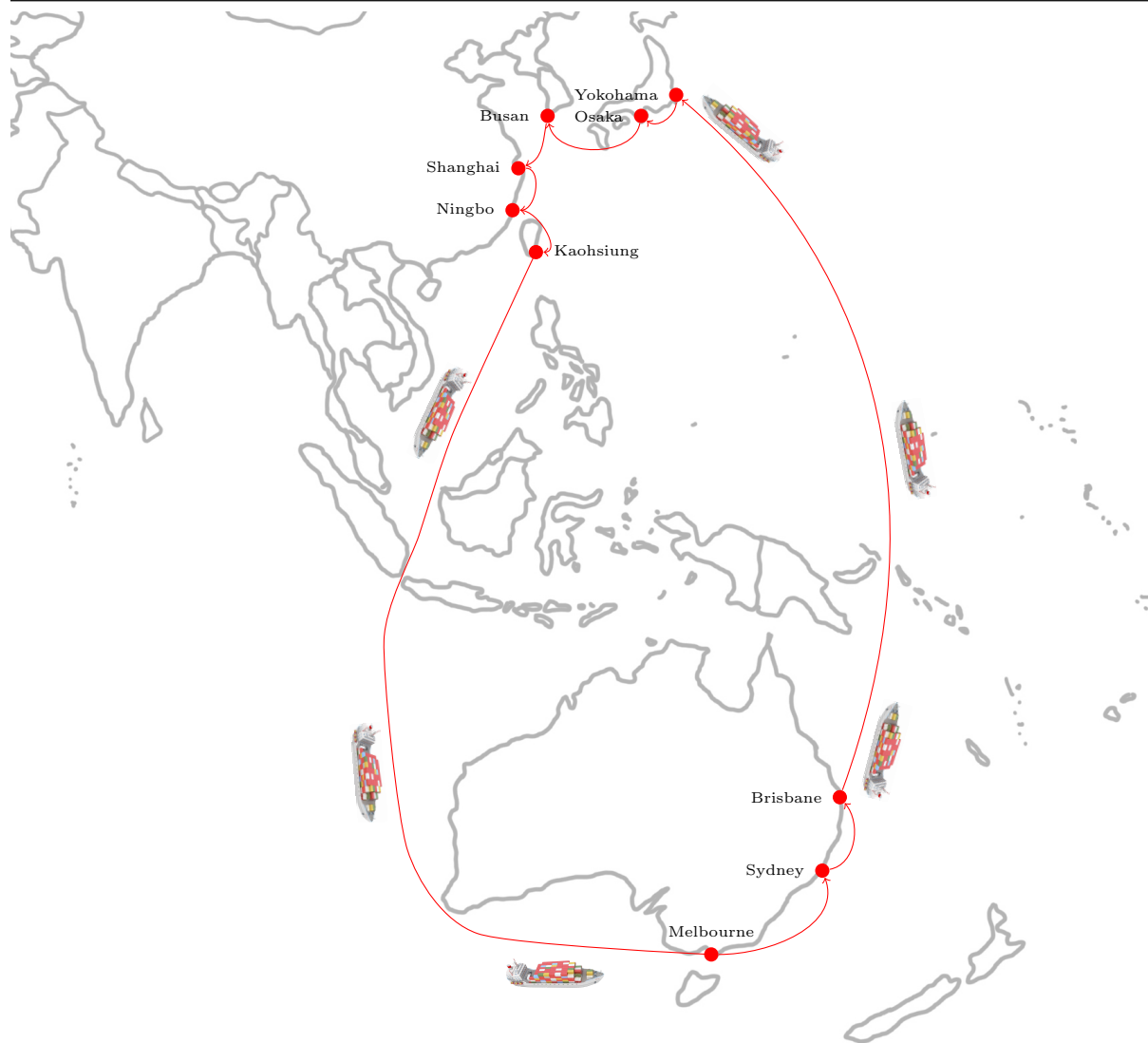
Om ANL se netwerkontwerp realisties te hersien is daar verskeie faktore soos hierdie wat in ag geneem moet word met betrekking tot die voorsieningsketting waarbinne lynvaart uitgevoer word.

Verder is die vervoer van vragte meer kompleks as slegs die oplaai daarvan by die hawe van oorsprong en die aflaai daarvan by die hawe van bestemming. Geloof, kultuur en wette word saam met produkte vervoer. Dit is waarom handelsroetes vorm waarbinne lande mekaar se wette, kultuur en geloof aanvaar. ANL dryf handel op 35 handelsroetes, opgesom in Tabel 3.2. Die tabel dui aan hoe lank 'n rotasie op elke roete neem, hoeveel houers op elke roete vervoer word (TEU), die dooie gewig van die houers in ton (DWT), wat die diensvereiste van kliënte op die roetes is asook hoeveel skepe en die tipe skepe wat tans op die roetes roteer. In Figuur 3.2 word handelsroete AANA grafies voorgestel. Die figuur dui aan hoe die 6 Panamax skepe op die handelsroete uit mekaar versprei word sodat enige twee opeenvolgende skepe sewe dae uit mekaar is. Die hawens waaruit die handelsroetes bestaan word aangebied in Bylae A. Die ligging van die 106 hawens waaruit al 35 handelsroetes bestaan, word aangedui in Figuur 3.3.

Handelsroete	Houers	Skepe	Tipe	Rotasie	Diensvereiste
AANA	25 978 TEU 311 010 ton	6	Panamax	42 Dae	7 Dae
AAX	25 098 TEU 339 229 ton	5	Panamax	35 Dae	7 Dae
ACE	33 112 TEU 409 086 ton	6	Post Panamax	42 Dae	7 Dae
ANZEX	30 294 TEU 363 627 ton	7	Panamax	49 Dae	7 Dae
APR	2 156 TEU 31 356 ton	2	Feeder	32 Dae	16 Dae
APX	618 TEU 7 734 ton	1	Small Feeder	17 Dae	17 Dae
AUS	14 522 TEU 197 279 ton	6	Feedemax	84 Dae	14 Dae
BEX	84 388 TEU 992 306 ton	11	Post Panamax	77 Dae	7 Dae
BOHAI	63 364 TEU 741 315 ton	4 2	Post Panamax New Panamax	42 Dae	7 Dae
CAGEMA	3 354 TEU 41 334 ton	3	Feeder	21 Dae	7 Dae
CIMEX	94 700 TEU 1 035 098 ton	7	New Panamax	49 Dae	7 Dae
COLUMBUS	135 264 TEU 1 704 320 ton	16	Post Panamax	112 Dae	7 Dae
EPIC	52 440 TEU 662 298 ton	8	Post Panamax	56 Dae	7 Dae
FAL 1	154 214 TEU 1 762 054 ton	8 3	New Panamax ULCV	77 Dae	7 Dae
FAL 2	131 810 TEU	3	Post Panamax	77 Dae	7 Dae

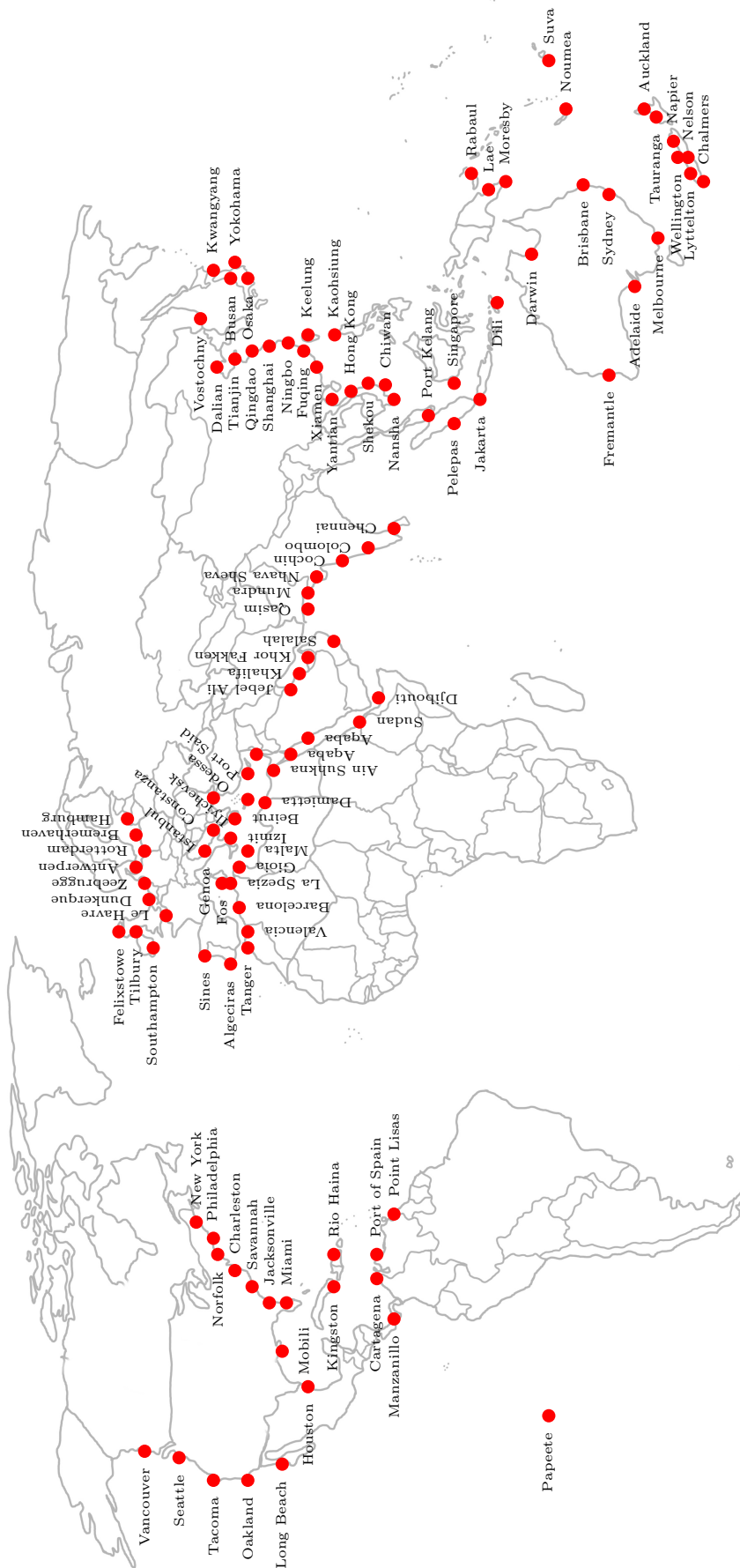
	1 544 113 ton	8	New Panamax		
FAL 3	124 018 TEU	12	New Panamax	84 Dae	7 Dae
	1 577 434 ton				
FAL 6	160 786 TEU	11	New Panamax	84 Dae	7 Dae
	1 728 831 ton	1	ULCV		
FAL 7	143 695 TEU	11	New Panamax	77 Dae	7 Dae
	1 633 073 ton				
INDAMEX	39 110 TEU	7	Panamax	56 Dae	7 Dae
	456 794 ton	1	Post Panamax		
JAX	17 811 TEU	5	Panamax	35 Dae	7 Dae
	279 496 ton				
KIX	11 918 TEU	3	Feedemax	42 Dae	7 Dae
	246 071 ton	3	Panamax		
MANHATTAN	42 242 TEU	10	Panamax	70 Dae	7 Dae
	518 155 ton				
MEX	101 571 TEU	9	Post Panamax	77 Dae	7 Dae
	1 280 938 ton	2	New Panamax		
MEX 3	77 855 TEU	10	Post Panamax	70 Dae	7 Dae
	1 077 212 ton				
NEMO	53 381 TEU	1	Feedemax	91 Dae	7 Dae
	633 065 ton	12	Panamax		
PEARL RIVER	69 144 TEU	6	New Panamax	42 Dae	7 Dae
	785 358 ton				
PERKINS	1 854 TEU	2	Small Feeder	18 Dae	9 Dae
	15 399 ton				
PEX 3	55 186 TEU	11	Panamax	77 Dae	7 Dae
	721 844 ton				
PNW	10 470 TEU	4	Feedemax	52 Dae	13 Dae
	144 788 ton				
PSW	25 859 TEU	7	Panamax	49 Dae	7 Dae
	329 008 ton				
REX	27 682 TEU	7	Post Panamax	49 Dae	7 Dae
	478 051 ton				
REX 3	30 772 TEU	7	Panamax	49 Dae	7 Dae
	369 005 ton				
SAS	27 584 TEU	1	Panamax	42 Dae	7 Dae
	408 024 ton	5	Post Panamax		
TTZ	7 536 TEU	3	Feedemax	21 Dae	7 Dae
	96 570 ton				
YANGSTE	49 604 TEU	6	Post Panamax	42 Dae	7 Dae
	628 353 ton				

Tabel 3-2: Opsomming van ANL se handelsroetes [23].



Figuur 3.2: Handelsroete AANA grafies voorgestel [23].

Die probleem is dat hoe meer doeltreffend en groen die netwerk van die lynvaart perspektief af raak (dit wil sê die gebruik van minder maar groter skepe) hoe minder gerieflik raak dit volgens kliënte se behoeftes. Realistiese groener oplossings verg dat aspekte soos die grootte van hawens en die effek van groter skepe op die prys van vervoer in gedagte gehou moet word. Groter skepe is meer brandstofdoeltreffend maar onderbenutting van kapasiteit het hoër koste per eenheid en dus pryse tot gevolg. Die doel van hierdie tesis is om ANL se netwerkontwerp so realisties as moontlik te hersien en vas te stel of verbeteringe aangebring kan word in 'n poging om lugbesoedeling binne huidige omstandighede te verminder terwyl alle nodige aspekte ingereken word.



Figuur 3.3: Ligging van hawens waaruit ANL se handelsroetes bestaan.

3.3 Probleembeskrywing

ANL is 'n lynvaart houer-skeepsredery wat skeepvervoerdienste volgens vaste roetes en skedules lewer, dit word ANL se diensnetwerk genoem. Die diensnetwerk bestaan uit 35 handelsroetes en word aangebied in Bylaag A. Elke handelsroete bestaan uit n aantal hawens wat in 'n geslote siklus besoek word. Verder het die kliënte op elke handelsroete 'n diensvereiste, dit is die vereiste aantal dae tussen opeenvolgende skepe se besoek aan al die hawens op die handelsroete. Die diensvereiste is 'n belangrike maatstaaf vir kliëntediens en maak voorsiening vir kompetisie tussen ander lynvaartondernemings. Die diensfrekwensie op handelsroetes verwys na die aantal keer wat elke hawe in die siklus besoek is. Dit word bereken as volg: lengte van siklus in dae / tydinerval tussen opeenvolgende skepe in dae. Byvoorbeeld om 'n diensfrekwensie van 6 keer te bewerkstellig sal die hawens op 'n handelsroete met 'n siklus lengte van 42 dae elke 7 dae deur 'n skip besoek moet word. Hierdie werkstuk behels die hersiening van ANL se diensnetwerk. Dit word gedoen om vas te stel of ANL se totale vrystelling van CO₂ gasse per kilometer verminder kan word binne die huidige situasie. Met die huidige situasie word die volgende insinueer.

1. Huidige diensvereistes van kliënte op handelsroetes moet bevredig word.
2. Die kapasiteitsbenutting van skepe op handelsroetes mag nie daal nie om te voorkom dat koste per eenheid en dus die prys van vervoer negatief beïnvloed word.
3. Fisiese beperkings van hawens op handelsroetes moet ingereken word. Alle hawens kan nie alle grootte skepe akkomodeer nie.

Die ontwerp van roetes in hierdie werkstuk behels die bepaling van die aantal ritte wat moet plaas vind tussen alle hawe kombinasies op 'n handelsroete, die volgorde waarin die hawens besoek moet word en die tipe skepe wat die ritte moet voltooi om die vrystelling van CO₂ op die handelsroete te minimeer. Skedulering in hierdie werkstuk behels die samestelling van tydperiodes wanneer alle hawens op 'n handelsroete besoek moet word om sodoende vas te stel hoeveel skepe daarop moet sirkuleer om die diensvereiste van kliënte op die handelsroete te bevredig. In hierdie werkstuk gaan hierdie twee probleme eksklusief opgelos word omdat die skeduleringsmodel die afvoer van die roeteontwerpmodel as toevoer gebruik. Dit word gedoen omdat die ontwerp van roetes deel vorm van 'n onderneming se strategiese beplanning waar die bou van nuwe skepe en hawens tipies 2 tot 5 jaar neem om te voltooi. Die skeduleringsprobleem vorm deel van 'n onderneming se taktiese beplanning met 'n tyd horison van 8 tot 18 maande waarna dit weer hersien word. Die skeduleringsmodel aktiveer dus die strategiese plan wat bepaal word tydens die ontwerp van roetes. Bestaande en relevante literatuur wat handel oor die ontwerp van roetes en skeduleringsprobleme gaan in die volgende hoofstuk gedek word.

HOOFSTUK 4

Literatuurstudie

Die toepassing van bestaande optimeringsmodelle op die maritieme industrie word in Afdeling 4.1 bespreek. 'n Klassifikasie skema wat gebruik word om die literatuur op te deel volgens die verskillende operasionele eienskappe wat daarin voorkom, word in Afdeling 4.2 bespreek. ANL se eienskappe word in Afdeling 4.3 uiteengesit waarna die relevante literatuur ten opsigte daarvan in Afdeling 4.4 uitgelig word. 'n Voorbeeld van hoe roetes geoptimeer kan word, word in Afdeling 4.5 verduidelik.

4.1 Kwantitatiewe Bestuur in die algemeen

Ondernemings in die lugvaart en land gebasseerde vervoer industrie maak op groot skaal reeds gebruik van kwantitatiewe metodes tydens beplanning- en besluitnemingsprosesse. Wiskundige optimering ontvang relatief min aandag deur ondernemings in die skeepsvaart industrie. Dit word gereflekteer in die aantal publikasies in die literatuur oor die onderskeie gebiede [21]. Die konserwatiewe aard van die skeepsvaart industrie speel 'n faktor asook die aard van maritieme beplanningsprobleme. Die verskeidenheid van bedryfsomgewings en verskillende strukture van die probleem beperk die impak van algemene navorsing in vergelyking met die impak daarvan op standaard probleme van voertuie en vliegtuie [18]. Die skeepsvaartomgewing het unieke eienskappe soos dat die grootte van 'n skip bepaal of dit 'n hawe kan binne gaan of nie, daar is 'n groot verskeidenheid van tipe en grootte skepe en skepe is voltyds besig om te vaar. Hierdie kondisies is uniek tot skeepvaart en het tot gevolg dat die roeteontwerp en skeduleringsprobleem daarvan ook uniek is.

In 2004 is 'n hersiening oor die wetenskaplike studies in verband met die ontwerp van roetes en skedulering van skepe gedoen. Een van die bevindings in die verslag is die skaarsheid van navorsing oor die skedulering en ontplooiing van skepe binne die lynvaartportefeulje

in vergelyking met die van ander bedryfsportefeuljes [18]. Dit is uitgewys dat die uiterse verskille tussen hierdie skeepvervoersegment teenoor industriële en huur verskeping verg dat meer navorsing oor lynvaart nodig is.

4.2 Klassifikasie skema

'n Klassifikasie skema word gebruik om bestaande literatuur wat handel oor dieselfde tipe probleme op te deel en groepeer volgens die verskillende eienskappe wat in die probleme voorkom. Dit word gedoen om die literatuur te identifiseer wat gebruik kan word as ondersteuning om 'n model te ontwikkel. Die enigste klassifikasie skema vir die roeteontwerp- en skeduleringsprobleme van skepe is opgestel deur Ronen (1983). Dit is omvattend vir al drie operasionele segmente in die maritieme bedryf geskryf: industrieël, huur en lynvaart. Hierdie drie segmente het verskillende eienskappe. 'n Eenvoudige voorbeeld is hoeveel beginpunte daar in die netwerk is, ook bekend as depots. Volgens die definisie van lynvaart is hierdie eienskap irrelevant omdat roetes geslote lusse vorm sonder enige oorsprong of bestemming. Om hierdie rede gaan slegs die eienskappe wat relevant en van toepassing is in lynvaart, oorweeg word. Die klassifikasie skema se literatuur word in Tabel 4-1 geklassifiseer volgens die verskillende lynvaart relevante eienskappe wat daarin voorkom [38]. Die eienskappe sluit in:

1. Tipe bedryf

Die vraag binne lynvaart word gekenmerk aan 'n oorsprong en bestemming. Die aantal hawens van oorsprong en die aantal hawens van bestemming wat in 'n netwerk voorkom kan verskil. Een hawe van oorsprong en 'n meervoudige aantal hawens van bestemming dui op 'n afleveringsprobleem. Een hawe van bestemming en 'n meervoudige aantal hawens van oorsprong dui op 'n oplaai-probleem. 'n Meervoudige aantal hawens van oorsprong en 'n meervoudige aantal hawens van bestemming dui op 'n oplaai en afleveringsprobleem.

2. Aard van vraag:

Vraag kan deterministies, stogasties of afhanklik van diens wees. Die moontlikheid dat vraag afhang van die diens wat verskaf word is reeds oorweeg in die literatuur en is geldig in die lynvaartindustrie [38]. Die vraag na lynvaart hang af van die handelsroetes en die diensfrekwensie wat op die roetes gebied word.

3. Skeduleringsbeperkings van hawens:

Hawens kan die tye wanneer skepe toegelaat word om dit binne te kom op drie maniere beperk. Die eerste geval is wanneer die hawe die tyd spesifiseer en die tyd vas is, dit het 'n skeduleringsprobleem tot gevolg. Die tweede geval is wanneer die hawe tydintervalle toelaat waarbinne die skepe die hawe mag binne gaan, dit het 'n gekombineerde roeteontwerp- en skeduleringsprobleem tot gevolg. Die laaste moontlikheid is wanneer daar geen beperkings is op die tye wanneer skepe hawens mag in gaan nie, in hierdie geval is dit 'n roeteontwerpprobleem.

4. Aantal skepe:

Dit is onwaarskynlik dat 'n lynvaartonderneming se vloot uit slegs een skip sal bestaan. In die meeste gevalle waar 'n vloot uit meer as een tipe skip bestaan, kan die optimale vlootgrootte en samestelling daarvan verander tydens die hersiening van die netwerkontwerp. Wanneer die vlootgrootte en samestelling van 'n vloot toegelaat word om te verander tydens die hersiening van die netwerkontwerp, sluit die probleem 'n aspek van vlootbestuur in. Vlootbestuur vereis dat die aantal van elke tipe skip ook bepaal moet word.

5. Samestelling van vloot:

Skepe kan verskil van mekaar ten opsigte van die kapasiteit waaroor dit beskik, die spoed waarteen dit kan vaar en die grootte daarvan in terme van diepte, lengte en breedte. 'n Vloot kan homogeen of heterogeen wees. 'n Vloot wat bestaan uit skepe wat identies is in alle aspekte, is 'n homogene vloot. Wanneer die vloot bestaan uit skepe wat van mekaar verskil in een of al die aspekte, is die vloot heterogeen.

6. Spoed van skepe:

Die spoed van skepe word nie beperk op dieselfde manier as wat die spoed van trokke beperk word nie. Trokke word beperk volgens padreëls en die toestand van die pad self. Skepe het 'n maksimum spoed en kan enige spoed daaronder handhaaf. Brandstofverbruik hou egter verband met die spoed waarteen skepe vaar en daarom neem kostes en besoedeling toe wanneer skepe teen 'n hoër spoed vaar. Skepe wat in dieselfde geslote lus vaar moet egter dieselfde spoed handhaaf vir die diensfrekwensie om konstant te bly.

7. Aantal kommoditeite:

Hierdie eienskap behels die vervoer van slegs een tipe kommoditeit of 'n kombinasie van verskillende tipe kommoditeite. Kommoditeite wat verskil in grootte, benut verskillende grootte spasies en dus kapasiteit van 'n skip. Ongeag die kommoditeit binne houters, het houters 'n standaard grootte. Om hierdie rede kan houters as 'n enkel kommoditeit beskou word.

8. Verenigbaarheid van skepe en hawens:

Hierdie eienskap hou verband met of daar een of meer vereistes is waaraan skepe moet voldoen om by hawens te kan ingaan. Met die toename in die grootte van houterskepe raak dit al hoe meer relevant dat die grootste skepe slegs 'n sekere aantal hawens kan binne gaan omdat die hawens nie breed, wyd en diep genoeg is op die skepe te akkomodeer nie. Hierdie eienskap word slegs in ag geneem wanneer roetes ontwerp word. Nog 'n vereiste is of die hawens die nodige hyskrane besit, indien nie moet die skepe die nodige hyskrane aanboord hê.

9. Doelfunksie:

Daar is oorhoofs drie verskillende doelfunksies: minimeer kostes, maksimeer wins en minimeer die omgewingsimpak van operasionele bedrywighede. Histories fokus ondernemings in die lynvaartindustrie daarop om wins te maksimeer deur kapasiteit optimaal te benut. Met 'n al groter fokus op die omgewingsimpak van ondernemings se bedrywighede raak dit al hoe meer toepaslik dat ondernemings die minimering van CO₂ gasse wat vrygestel word, as hul doelfunksie het.

4.3 ANL se eienskappe

ANL is 'n lynvaartonderneming wat poog om vraag tussen 'n meervoudige aantal hawens van oorsprong en 'n meervoudige aantal hawens van bestemming te bevredig met die minste moontlike omgewingsimpak. Daar word aangeneem dat vraag afhang van die diens wat gelewer word, dus deur die diensvereistes van kliënte op roetes konstant na te kom, is dit moontlik om vraag tussen hawens op die roetes konstant te hou. ANL bied op die meeste van die handelsroetes 'n direkte weeklikse diens tussen hawens en daar bestaan geen skeduleringsbeperkings by die hawens nie. Die weeklikse diensvereiste op roetes word bevredig deur skepe volgens 'n uitgespreide patroon te laat vaar sodat twee opeenvolgende skepe 'n week uit mekaar is. Dit word gedoen deur 'n spoed te kies wat verseker dat die roete 'n heeltallige aantal weke neem om te voltooi. Skepe wat in dieselfde geslote lus vaar moet dieselfde spoed handhaaf om die tydinterval tussen besoeke aan hawens konstant te hou. ANL se skepe vaar reeds teen die omgewingvriendelikste spoed en daarom gaan die spoed van skepe nie as 'n besluitnemingsveranderlike oorweeg word nie.

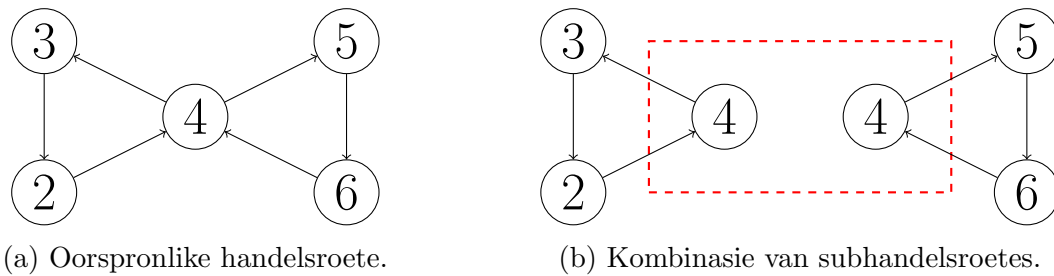
ANL vervoer slegs twintig voet ekwivalente houters (TEU) wat tot gevolg het dat daar slegs een kommoditeit is. Verenigbaarheidsvereistes tussen hawens en skepe word deur die huidige operasie bepaal deur aan te neem die grootste skip wat tans 'n hawe binnegaan, die grootste skip is wat deur die hawe geakkomodeer kan word. Verder word daar aangeneem dat alle hawens die nodige hyskrane het om die skepe wat dit akkomodeer se vragte te

kan hanteer en dat alle hawens vragte teen dieselfde spoed hanteer. Daar word laastens aangeneem dat die tyd wat dit neem om 'n vrag op te laai by hawe i en die vrag af te laai by hawe j , ingesluit is in die tyd wat dit 'n skip neem om van hawe i na hawe j te vaar. ANL het tans 'n heterogene vloot wat bestaan uit skepe wat opgedeel kan word in sewe tipes skepe. Skepe van dieselfde tipe het dieselfde fisiese eienskappe ten opsigte van brandstofverbruik, kapasiteit en grootte. ANL se vlootgrootte en samestelling daarvan word toegelaat om te verander tydens die hersiening van die netwerkontwerp.

4.4 Relevante literatuur

Die werk van Bendall en Stent (2001) behels die hersiening van 'n diensnetwerk in twee fases. In die eerste fase word die ontwerp van roetes hersien deur gebruik te maak van 'n lineêre programmeringsmodel en die tweede fase behels die skedulering van skepe met die hand [2]. Die hersiening van ANL se diensnetwerk gaan ook in twee fases opgelos word maar beide fases gaan deur middel van 'n lineêre programmeringsmodel hersien word. In die eerste fase gaan die ontwerp van ANL se handelsroetes hersien word. ANL se roeteontwerp probleem bestaan uit 'n stel hawens waartussen daar bekende vraag is wat vervoer moet word deur 'n versameling van verskillende tipe skepe. Die probleem is om die handelsroetes te hersien en vas te stel of die huidige ontwerp daarvan voldoen aan die voorskrifte van die doel. ANL se doel is om die vrystelling van CO₂ gasse te minimeer. Die oplossing beskryf 'n reeks van aantal ritte wat tussen hawe kombinasies deur die verskillende tipe skepe voltooi moet word.

In 'n artikel deur Boffey (1979) word daar aangeneem dat vraag afhang van die diens wat gelewer word met transit tyd as die kritieke diensparameter. Dit wil sê hulle neem aan dat vraag tussen hawe kombinasies konstant sal bly so lank as wat die transit tyd en diensfrekwensie tussen die hawens konstant bly [3]. ANL se skepe vaar reeds teen die omgewingvriendelikste spoed en roetes is so ontwerp dat handelsroetes 'n heeltallige aantal dae neem om te voltooi. Dit het tot gevolg dat skepe tans 'n heeltallige aantal keer binne 'n beplanningshorison die handelsroetes omwentel. Volgens Rana en Vickson (1991) kan 'n handelsroete 2 of meer subroetes bevat en kan hierdie subroetes gesien word as 2 subhandelsroetes wat gekombineer word [13]. Hierdie redenasie word grafies voorgestel in Figuur 4.1 waar handelsroete 2-4-5-6-4-3-2 ook gesien word as 2 subhandelsroetes 4-3-2-4 en 4-5-6-4 wat verbind word deur hawe 4. Die artikel deur Reinhardt (2007) argumenteer ook dat om die lynvaartprobleem realisties te weerspieël soos wat dit werklik ervaar word in die industrie, moet subroetes toegelaat word met die hersiening van handelsroetes [14].



Figuur 4.1: Rana en Vickson se redenasie dat handelsroetes uit 'n kombinasie van twee of meer subroetes kan bestaan [13].

Net soos in die werk van Lane (1987) waar die vlootgrootte en samestelling toegelaat word om te verander tydens die hersiening van die netwerkontwerp [9], word ANL se vlootgrootte en samestelling ook toegelaat om te verander tydens die hersiening van die diensnetwerk. Die vlootgrootte gaan bepaal word deur die skeduleringsmodel. ANL se skeduleringsprobleem behels die opstel van 'n versameling van uitvoerbare skedules vir alle betrokke skepe op 'n handelsroete wat voldoen aan die voorskrifte van die doel. Die doel tydens die skedulering van skepe is om die hoeveelheid skepe wat benodig word om die skedules uit te voer, te minimeer. Die resultaat van die skeduleringsmodel moet 'n skedule wees wat andui hoeveel skepe nodig is om die skedule uit te voer.

Fagerholt (1999) het 'n model ontwikkel om die vlootgrootte en samestelling van 'n vloot te bepaal wat bekende vraag op voorafbehaalde handelsroetes koste effektief kan bevredig [5]. In 2001 het Fagerholt verder gegaan en die skeduleringsprobleem van 'n vloot as 'n meervoudige oplaai-en-aflaai-probleem oorweeg. Hy het saggte tyd beperkings bygevoeg waarbinne hawens besoek moet word om beter skedules te bekom. Sy bevindings sluit in dat die kompleksiteit en grootte van die probleem 'n funksie is van die aantal moontlike oplossings vir elke skip [7]. Die grootte van die tydinterval waarbinne dienste gelewer moet word affekteer die aantal moontlike oplossings. Groot tydintervalle het meer buigsaamheid tot gevolg en dus meer moontlike oplossings. Wanneer die tydintervalle korter word en minder vragte betyds deur dieselfde skip bedien kan word, word van die boë van die haalbare vragte vir skepe geëlimineer en raak die probleem kleiner. Al die literatuur wat gebruik kan word as ondersteuning om die twee modelle te ontwikkel waarmee ANL se diensnetwerk hersien gaan word, word in Tabel 4.1 opgesom. Die nommer van die artikels waarin probleme met eienskappe soortgelyk aan die van ANL voorkom, word in die derde kolom aangedui.

Karaktertrek	Opsies	Artikel
1. Tipe bedryf	Oplaai	[5],[6]
	Aflaai	[7]

	Oplaa en aflaai	[1]-[4],[8]-[11],[13]-[17]
2. Aard van vraag	Deterministies	[1],[4]-[7],[9]-[17]
	Stogasties	[8]
	Afhanklik van diens	[2],[3]
3. Skedulerings beperkings	Vaste tye	
	Tyd interval	[1],[7],[9],[17]
	Geen	[2]-[6],[8],[11]-[16]
4. Aantal skepe	Vas	[3],[6],[13],[14]
	Veranderlik	[1],[2],[4],[5],[7]-[12],[15],[17]
5. Samestelling van vloot	Heterogeen	[1],[4]-[7],[9]-[14],[16],[17]
	Homogeen	[2],[3],[8],[15]
6. Spoed van skepe	Nie veranderlik	[16]
	Veranderlik	[1]-[15],[17]
7. Aantal komoditeite	Een	[2]-[6],[10],[12],[13],[15]-[17]
	Meervoudig	[1],[7]-[9],[11],[14]
8. Verenigbaarheid vereistes	Geen	[1]-[3],[5]-[9],[12]-[16]
	Bestaan	[4],[10],[11],[17]
9. Objekfunksie	Minimeer kostes	[4]-[7],[9],[10],[14],[15],[17]
	Maksimeer wins	[1],[2],[4],[8],[11]-[13],[16]
	Minimeer CO ₂	

Tabel 4-1: Klassifikasie van literatuur volgens eienskappe relevant tot ANL se netwerk.

4.5 'n Voorbeeld van hoe roetes geoptimeer kan word

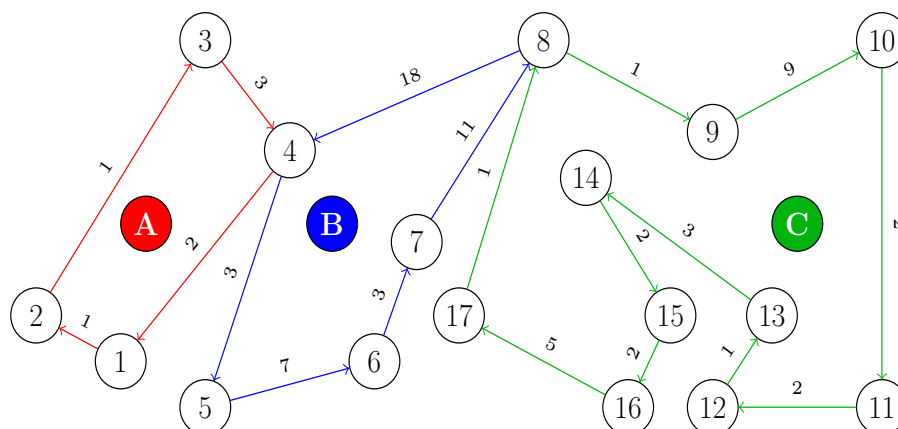
'n Voorbeeld van 'n handelsroete word voorgestel in Tabel 4-2. Die tabel dui aan dat die handelsroete 77 dae neem om te voltooi, kliënte dring aan dat daar 'n skip elke 7 dae by elke hawe op die handelsroete moet aankom en dat daar tans 9 Post Panamax skepe en 2 New Panamax skepe op die roete sirkuleer om 2 044 818 houers te vervoer. Figuur 4.2 dui grafies aan dat die roete uit 17 hawens bestaan waartussen 19 boë weekliks bedien moet word. Daar is in totaal $11 \times 19 = 209$ ritte wat uitgevoer moet word oor 'n 11 weke lange siklus. In Tabel 4-3 word die totale kapasiteit bereken wat gedurende 'n 11 weke siklus op die roete gebied word wanneer 171 ritte met 'n Post Panamax skip en 38 ritte met 'n New Panamax skip voltooi word. Die vloot bied die kapasiteit om 2 261 000 houers te vervoer, maar daar word slegs 2 044 818 houers gedurende die 11 weke siklus vervoer. Dus 90,43% van die vloot se kapasiteit word gedurende die 11 weke siklus benut.

VOORBEELD ROETE

2 044 818 houers

Bote			
Post Panamax	9		
New Panamax	2		
Diensvereiste			
7 Dae			
Roete			
Nr	Hawe	Dae	Kumulatief
1.	Valencia	0	0
2.	Barcelona	1	1
3.	Fos	1	2
4.	Malta	3	5
5.	Port Said	3	8
6.	Salalah	7	15
7.	Khor Fakken	3	18
8.	Port Klang	11	29
9.	Singapore	1	30
10.	Qingdao	9	39
11.	Busan	2	41
12.	Shanghai	2	43
13.	Ningbo	1	44
14.	Nansha	3	47
15.	Yantian	2	49
16.	Chiwan	2	51
17.	Pelepas	5	56
(8.)	Port Klang	1	57
(4.)	Malta	18	75
(1.)	Valencia	2	77

Tabel 4-2: Nommers toegeken aan hawens van voorbeeld handelsroete.



Figuur 4.2: Subroetes in die voorbeeld handelsroete.

Volgende word daar gekyk na die toelaat van subroetes in die siklus. Volgens die grafiese voorstelling van die handelsroete in Figuur 4.2 kan gesien word dat die handelsroete uit drie subroetes bestaan wat aan mekaar verbind is deur hawens 4 en 8. Gestel die subroetes word A, B en C genoem. Subroete A is 7 dae lank, B is 42 dae lank en C is 28 dae lank. Indien subroetes toegelaat word sal daar in totaal nogsteeds 11 skepe nodig wees om te verseker hawens word weekliks bedien. Dit sal verg dat daar 1 skip op subroete A moet sirkuleer, 6 skepe op subroete B en 4 skepe op subroete C. Tabel 4-4 dui aan dat die hersiende weergawe van die handelsroete met subroetes tot gevolg sal hê dat daar 3 ritte minder met 'n New Panamax skip uitgevoer word en 3 ritte meer met 'n Post Panamax skip. Post Panamax skepe het die kapasiteit om 10 000 houters te vervoer en New Panamax skepe het die kapasiteit om 14 500 houters te vervoer. Dit verduidelik waarom die benutting van kapasiteit van 90,43% in die oorspronklike handelsroete toeneem met 0,55% na 90,98% in die hersiende handelsroete.

Tipe Skepe	# skepe	Aantal ritte	Vloot kapasiteit
Post Panamax	9	$19 \times 9 = 171$	1 710 000
New Panamax	2	$19 \times 2 = 38$	551 000
Totaal	11	209	2 261 000

Tabel 4-3: Kapasiteit gebied op oorspronklike handelsroete.

Subroete	Tipe Skepe	#skepe	Aantal Ritte	Vloot kapasiteit
A	Post Panamax	1	$11 \times 4 = 44$	440 000
B	Post Panamax	4	$4 \times 5 = 20$	200 000
	New Panamax	2	$7 \times 5 = 35$	507 500
C	Post Panamax	4	$11 \times 10 = 110$	1 100 000
	Totaal	11	209	2 247 500

Tabel 4-4: Kapasiteit gebied op hersiende handelsroete.

In Tabel 4-3 en Tabel 4-4 is daar bereken en bewys dat die hersiende ontwerp van die handelsroete nie die kapasiteitsbenutting van die vloot negatief sal beïnvloed nie. Die vraag is egter nou: alhoewel die gebruik van subroetes nie die kapasiteitsbenutting van die vloot negatief sal beïnvloed nie, kan die gebruik daarvan die omgewingsimpak van bedrywighede op die handelsroete verminder? Die effek van die gebruik van subroetes op die vrystelling van CO₂ word in Tabel 4-5 en Tabel 4-6 bereken. Een omwenteling rondom die oorspronklike handelsroete neem 77 dae om te voltooi. Daar is 24 uur in een dag en volgens die oorspronklike ontwerp van die voorbeeld handelsroete word die roete in totaal 9 keer deur 'n Post Panamax skip en 2 keer deur 'n New Panamax skip voltooi. ANL se skepe vaar teen 12 knope en daar is 1,85 kilometer in 'n seemyl. Post Panamax skepe

skei 5,39 gram CO₂ af per kilometer en New Panamax skepe skei 3,9 gram CO₂ af per kilometer. In Tabel 4-5 word bereken dat die oorspronklike ontwerp van die handelsroete in totaal 2 310 151,54 gram CO₂ afskei. Die hersiende ontwerp van die handelsroete sal verg dat 'n Post Panamax skip 11 keer op subroete A moet sirkuleer, 4 keer subroete B en 11 keer subroete C. Dit is verder nodig dat 'n New Panamax skip 7 keer subroete B moet voltooi. Die totale gram CO₂ wat vrygestel sal word deur die hersiende ontwerp van die handelsroete word in Tabel 4-6 bereken. Deur Tabel 4-5 en Tabel 4-6 te vergelyk kan gesien word dat die totale gram CO₂ gasse wat vrygestel word potensieël van 2 310 151,54 gram na 2 199 009,46 gram verminder kan word deur gebruik te maak van subroetes. Dus sonder om die vlootgrootte aan te pas en sonder dat die kapasiteitsbenutting van die vloot negatief beïnvloed word, kan die vrystelling van CO₂ gasse op die voorbeeld handelroete met 4,81% verminder word.

Tipe skip	Ure		nm/h		km		gCO ₂ /km	=	gCO ₂
Post Panamax	77 × 24 × 9	×	12	×	1,85	×	5,39	=	1 990 151,86
New Panamax	77 × 24 × 2	×	12	×	1,85	×	3,9	=	319 999,68
Totaal gCO ₂									2 310 151,54

Tabel 4-5: Totale gram CO₂ vrygestel deur oorspronklike handelsroete.

Tipe skip	Ure						nm/h		km		gCO ₂ /km		=	gCO ₂	
Post_Pan(A)	7	×	24	×	11	×	12	×	1,85	×	5,39	=	221	127,98	
Post_Pan(B)	42	×	24	×	4	×	12	×	1,85	×	5,39	=	482	461,06	
New_Pan(B)	42	×	24	×	7	×	12	×	1,85	×	3,9	=	610	908,48	
Post_Pan(C)	28	×	24	×	11	×	12	×	1,85	×	5,39	=	884	511,94	
Totaal gCO ₂													2 199	009,46	

Tabel 4-6: Totale gram CO₂ vrygestel deur hersiende handelsroete.

Dieselfde benadering wat gebruik is om die voorbeeld handelsroete te optimeer, gaan gebruik word om al ANL se handelsroetes te hersien. Dit word gedoen om vas te stel of die omgewingsimpak van die operasionele bedrywighede op handelsroetes verminder kan word sonder om die kompeterende vermoë van die onderneming negatief te beïnvloed. Om instaat te wees om die handelsroetes te hersien is dit nodig om 'n wiskundige model te formuleer wat al die funksies en vereistes wat teenwoordig is in die lynvaartomgewing in ag neem. Die wiskundige model wat gebruik word in hierdie werkstuk word in Hoofstuk 5 voorgestel en bespreek.

HOOFSTUK 5

Wiskundige Model

In hierdie hoofstuk word die wiskundige formulering van die modelle bespreek wat gebruik word om ANL se diensnetwerk te hersien. ANL se diensnetwerk word deur 2 stappe hersien: die eerste stap hersien die ontwerp van roetes en die tweede stap hersien die skedulering van skepe op die nuwe roetes. In Afdeling 5.1 word die aannames bespreek wat nodig is om die modelle toe te pas met die hersiening van ANL se diensnetwerk. In Afdeling 5.2 word die roeteontwerpmodel se wiskundige formulering aangebied en in Afdeling 5.3 word die skeduleringsmodel se wiskundige formulering aangebied.

5.1 Aannames

Talle studies handel oor die roeteontwerp- en skeduleringsprobleme van skepe. Elke studie het sy eie omvang en verskillende aannames wat daarmee gepaart gaan. 'n Gedetailleerde beskrywing van die aannames help met die bepaling van die omvang van die navorsing en stel die navorsing in perspektief met bestaande literatuur in die veld. Daar word oorhoofs onderskei tussen drie tipes aannames: aannames wat die realiteit voorstel, aannames wat die realiteit uitbrei en aannames wat die omvang van die studie beperk.

Aannames wat die werklikheid voorstel is belangrik om die studie in perspektief te plaas. Vandag se werklikheid mag heel moontlik in die toekoms verander. Hierdie aannames suit in:

1. Die oplaai en aflaai van vragte by hawens gebeur op dieselfde tyd en hierdie tyd is ingesluit in die tyd wat dit 'n skip neem om vanaf hawe i na hawe j te vaar.
2. Vraag tussen hawens mag gedeeltelik bevredig word.

3. Die vrystelling van CO₂ word beskou as afhanklik van die diskrete afstand wat afgelê word en die tipe skip wat gebruik word om die afstand af te lê. Dit word bereken deur die afstand te vermenigvuldig met 'n konstante wat verband hou met die tipe skip wat gebruik is om die afstand af te lê. Hierdie konstantes is bepaal deur vorige navorsing [34].

Dit is soms nodig om die realiteit van 'n probleem uit te brei om dit te vereenvoudig. Die aannames wat ANL se realiteit uitbrei sluit in:

4. Daar bestaan geen skeduleringsbeperkings by hawens en skepe kan 24/7 in en uit beweeg.
5. Verenigbaarheid tussen hawens en skepe word deur huidige operasionele bedrywighede bepaal. Dit wil sê die grootste skepe wat tans by 'n hawe ingaan is die grootste skip wat die hawe kan akkomodeer. Verder beskik hawens oor die nodige huiskrane om die skepe wat dit akkomodeer se vragte te kan hanteer.
6. Die vlootgrootte en samestelling is onbeperk en mag verander ongeag die finansiële gevolge daarvan. Die vloot bestaan uit skepe met verskillende fisiese eienskappe ten opsigte van die grootte, kapasiteit en brandstofverbruik daarvan. Ongeag die jaarmodel van skepe is dieselfde tipe skepe homogeen in hierdie eienskappe.

Laastens word daar aannames gemaak wat die omvang van die werk afbaken. Dit verhoed dat die probleem te ingewikkeld raak en is nodig om die oplosbaarheid daarvan te verseker.

7. Hawens hanteer skepe teen dieselfde spoed. Hierdie spoed is dieselfde vir alle tipe skepe. Dus die tyd wat alle tipe skepe in hawens spandeer is 'n konstante en hou nie verband met die aantal TEUs wat afgelaai en opgelaai word nie.
8. Die spoed van skepe is konstant en dieselfde vir alle tipe skepe.
9. Die afstand tussen hawe kombinasies is bekend en dit sluit 'n veiligheidsafstand vanaf kuslyne in om die risiko van seerowery te verminder. Die transit tyd om die afstand af te lê word nie beïnvloed deur die weer nie.
10. Vraag hang af van die diens wat gelewer word. Deur die diensfrekwensie en transit tyd tussen hawens konstant te hou sal vraag tussen hawe kombinasies konstant en bekend bly.

5.2 Roeteontwerpmodel

Die volgende versamelings, parameters en veranderlikes is nodig om die model wat die ontwerp van ANL se handelsroetes hersien, wiskundig te formuleer.

Die versamelings word as volg definieer. Laat

- \mathcal{V} die versameling van tipe skepe wees met indeks v ,
- \mathcal{N} die versameling van hawens met indekse i of j en
- \mathcal{A} die versameling van boë wees wat hawens verbind, met 'n algemene element (i, j) .

Die parameters word as volg definieer. Laat

- f_{ij} die vereiste aantal ritte vanaf hawe i na hawe j ,
- d_{ij} die aantal houers wat vervoer moet word vanaf hawe i na hawe j ,
- w_{ij} die gewig van die houers wat vervoer moet word vanaf hawe i na hawe j in ton,
- $h_{ij} = [h_i, h_j]$, waar h_i en h_j die kapasiteit in TEUs van hawens i en j respektiewelik is,
- t_{ij} die afstand vanaf hawe i na hawe j in kilometer,
- k_v die kapasiteit van skip tipe v in terme van aantal houers,
- s_v die dra vermoë van skip tipe v in ton,
- c_v die gram CO₂ vrystellings van skip tipe v per TEU kilometer wees en
- b die kapasiteitsbenuttingsvereiste van skepe op die handelsroete.

Die veranderlike word as volg definieer. Laat

- x_{vij} die heeltallige veranderlike wees wat die aantal keer aandui wat skip tipe v vanaf hawe i na hawe j vaar binne die handelsroete.

Die doel van die roeteontwerpmodel, voorgestel in (5.1), is om die vrystelling van CO₂ gasse met die uitvoer van verskepingdienste te minimeer. Die gebruik van groter en groener skepe kan die vrystelling van CO₂ gasse verminder. Om die ontwerp van ANL se handelsroetes realisties te hersien is dit egter nodig dat die model al die beperkings en vereistes wat voorkom binne die lynvaartomgewing inagneem. Dit beperk tot water mate die netwerk aangepas kan word en/of groter skepe in die netwerk geplaas kan word. Die formulering kan geskryf word as

$$\text{minimeer } \sum_{\substack{v \in \mathcal{V} \\ (i,j) \in \mathcal{A}}} c_v t_{ij} x_{vij} \quad (5.1)$$

onderhewig aan

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} x_{vik} = \sum_{j \in \mathcal{N}} x_{vkj} , \quad v \in \mathcal{V}, k \in \mathcal{N}, \quad (5.2)$$

$$\sum_{v \in \mathcal{V}} x_{vij} k_v \geq d_{ij} , \quad i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N}, \quad (5.3)$$

$$\sum_{v \in \mathcal{V}} x_{vij} \geq f_{ij} , \quad i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N}, \quad (5.4)$$

$$x_{vij} k_v \leq x_{vij} h_{ij} , \quad v \in \mathcal{V}, i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N}, \quad (5.5)$$

$$\sum_{v \in \mathcal{V}} x_{vij} s_v / k_v \geq w_{ij} / d_{ij} , \quad i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N}, \quad (5.6)$$

$$\sum d_{ij} / \sum_{v \in \mathcal{V}} x_{vij} k_v \geq b , \quad i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N}, \quad (5.7)$$

$$x_{vij} \in \mathbb{N}^0 , \quad v \in \mathcal{V}, i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N}. \quad (5.8)$$

Die stel beperkings in (5.2) is fisiese beperkings wat vereis dat die aantal van skip tipe v wat by hawe k aankom, gelyk moet wees aan die aantal van skip tipe v wat hawe k verlaat. Die stel beperkings in (5.3) en (5.4) is vraagbeperkings. Die stel beperkings (5.3) vereis dat daar genoeg kapasiteit in terme van spasie vir houters op skepe moet wees om vraag te kan vervoer. Die stel beperkings (5.4) vereis dat die aantal keer wat elke boog bedien word, moet voldoen aan die frekwensie wat deur kliënte se diensvereiste geverg word. Die stel beperkings (5.5) en (5.6) is kapasiteitsbeperkings. Die stel beperkings (5.5) beperk die tipe skepe wat op boë mag vaar volgens die kapasiteit van die betrokke hawens op die boog en die stel beperkings (5.6) vereis dat die gewig van die vragte wat vervoer word, nie die dra vermoë van die skepe mag oorskrei nie. Dit is nodig omdat die dra vermoë van skepe bereik kan word voordat die kapasiteit van skepe in terme van spasie vir houters ten volle benut is. Beperking (5.7) is die kapasiteitbenuttingsvereiste, dit vereis dat 'n sekere persentasie van die kapasiteit wat deur al die skepe op al die boë gebied word, benut moet word. Slegs heeltallige skepe mag gebruik word soos aangedui deur die stel beperkings (5.8), waar \mathbb{N}^0 die versameling van natuurlike getalle is met 0 ingesluit.

5.3 Skeduleringsmodel

Die afvoer van die roeteontwerpmodel sluit in: die aantal ritte wat moet plaasvind tussen alle hawe kombinasies asook die tipe skepe wat hierdie ritte moet uitvoer. Die tydperiodes word dan by die ritte gevoeg van wanneer die betrokke vragte van die ritte beskikbaar raak. Die skeduleringsmodel bepaal dan hoeveel skepe nodig is om al die vragte tydig, volgens kliënte se diensvereistes, te bedien. Die afvoer sal dan die skedule van al die skepe wees en gesamentlik vorm die roeteontwerpmodel en die skeduleringsmodel se afvoer die hersiende ontplooiingsplan van ANL.

Die benaming van die verskillende simbole wat in die wiskundige formulering van die skeduleringsmodel gebruik word, word as volg uiteengesit. Laat \mathcal{N} en \mathcal{A} die versamelings wees soos dit in die roeteontwerpmodel gedefinieer is. 'n Addisionele versameling word as volg definieer. Laat

\mathcal{P} die versameling van tydperiodes met indeks t of s wees.

Die parameters word as volg definieer. Laat

d_{ijs} die aantal ritte wees wat moet plaasvind vanaf hawe i na hawe j in periode s ,
 T_{ij} die aantal periodes wees wat dit neem om vanaf hawe i na hawe j te vaar,
 W die maksimum aantal tydperiodes wat 'n rit vertraag mag word en
 g die gewig gekoppel aan elke tydperiodes waarmee 'n rit vertraag word.

Die veranderlikes word as volg definieer. Laat

n_i die aantal skepe wees wat in die sisteem geplaas word by hawe i ,
 r_{ijt} die aantal skepe wat vanaf hawe i na hawe j vertrek in periode t en
 y_{ijst} die aantal skepe wat arriveer by hawe i op tyd s en wegtrek op pad na hawe j op tyd t met $s \leq t$.

Die skeduleringsmodel poog om die kostes van operasionele bedrywighede met die uitvoer van al die ritte te minimeer. Dit word gedoen deur die aantal skepe wat in die sisteem geplaas word asook die aantal tydperiodes wat skepe in hawens spandeer, te minimeer. Die doel word dan

$$\text{minimeer } \sum_{\substack{i \in \mathcal{N} \\ (i,j) \in \mathcal{A} \\ s,t \in \mathcal{P}}} n_i + g(t-s)y_{ijst}, \quad (5.9)$$

onderheuwig aan

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} r_{ik(t-T_{ik})} = \sum_{j \in \mathcal{N}} r_{kjt} \quad t \in \mathcal{P}, k \in \mathcal{N}, \quad (5.10)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{P}} y_{ijst} \leq r_{ijt} \quad i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{P}, \quad (5.11)$$

$$\sum_{t \in \mathcal{P}} y_{ijst} = d_{ijs} \quad i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N}, s \in \mathcal{P}, \quad (5.12)$$

$$r_{ijt} \in \mathbb{N}^0 \quad i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{P}. \quad (5.13)$$

Die stel beperkings in (5.10) is fisiese beperkings wat vereis dat die aantal skepe wat by elke hawe aankom, gelyk moet wees aan die aantal skepe wat elke hawe verlaat vir elke tydperioede. Verder moet daar genoeg skepe beskikbaar wees op dag t by hawe i om ritte vanaf hawe i na hawe j uit te voer. Hierdie ritte moet tydig uitgevoer word deurdat $t - W \leq s$ moet wees. Dit word voorgestel deur die stel beperking in (5.11) en (5.12) onderskeidelik. Slegs heeltallige skepe mag gebruik word soos aangedui deur die stel beperkings (5.13) waar \mathbb{N}^0 die versameling van natuurlike getalle is met 0 ingesluit.

Die wiskundige formulerings van die modelle moet geïmplementeer word in 'n sagteware program voordat dit gebruik kan word om ANL se handelsroetes te hersien. Die proses waarvolgens die modelle geïmplementeer is, word in die volgende hoofstuk deeglik bespreek.

HOOFSTUK 6

Implementering

Die hoofstuk handel oor die implementeringsproses van die wiskundige geformuleerde modelle, soos aangebied in Hoofstuk 5. Die data wat deur die modelle benodig word en die insameling daarvan word in Afdeling 6.1 bespreek. Die sagteware wat gebruik word vir die implementering van die optimeringsmodelle en die sintaks waarvolgens dit gedoen word, word in Afdeling 6.1 bespreek. Die afvoer van die modelle word geverifieer in Afdeling 6.2 waarna die hoofstuk afsluit deur die betroubaarheid van die optimeringsmodelle se afvoer gesamentlik te bespreek in Afdeling 6.3.

6.1 Data insameling

Die doel van data insameling is om 'n datastel te vind wat werklikheid en algehele toepaslikheid kombineer. Die werklikheid van die datastel wat gebruik word in hierdie tesis word gebied deur die diensnetwerk op ANL se bestaande diensnetwerk te baseer. Die hoof rede waarom 'n bestaande diensnetwerk gekies is, is omdat dit geleentheid bied om relevante vergelykings te maak. Dit word gedoen deur die diensnetwerk wat bekom word deur die optimeringsmodelle te vergelyk met die diensnetwerk wat tans geïmplementeer is deur ANL. Die vergelyking plaas die oplossing in perspektief en as die resultate goed is, regverdig dit die gebruik van die modelle.

Dit is moeilik om regte wêreld data te bekom omdat ondernemings in die lynvaartindustrie hul bedryfsdata as vertroulike inligting beskou. Ondernemings bied wel nuttige inligting oor bedrywighede deur middel van hulle webtuistes. ANL se diensnetwerk is op hul webtuiste bekom waar dit publiek bekend gestel word. Die datastel (sien Bylaag A) dui die vraag tussen hawekombinasies op elke handelsroete in aantal TEUs aan, die gewig van die vrage in ton en die diensvereiste van kliënte op die handelsroetes in dae.

ANL se webtuiste bied slegs die afstande tussen hawe kombinasies aan waarop daar tans skepe vaar. Hierdie afstande word in transit dae gegee. Afstande tussen alle hawe kombinasies op 'n handelsroete word in kilometer benodig om te kan bereken hoeveel CO₂ daarop afgeskei sal word afhangend van die tipe skip wat daarop vaar. Die afstand in kilometer tussen alle hawe kombinasies op elke handelsroete is bepaal deur gebruik te maak van 'n globale posisioneringstelsel [25]. Verder word die maksimum toelaatbare kapasiteit tussen hawe kombinasies afgelei van die grootste skip wat tans tussen die hawens vaar en die vereiste kapasiteitsbenutting van skepe op handelsroetes word gebaseer op die huidige kapasiteitsbenutting van skepe op die handelsroetes.

6.2 Sagteware en sintaks

Optimeringsmodelle kan geïmplementeer word in 'n groot verskeidenheid van sagteware programme waarvan Microsoft Excel [43] 'n goeie voorbeeld is vir relatiewe klein probleme. LINGO 11.0 [42] was eerstens gekies omdat die Departement Logistiek 'n lisensie het vir die sagteware. Tweedens omdat dit in akademiese kringe as goeie sagteware vir die oplos van heeltallige programmeringsprobleme beskou word.

Die wiskundige modelle, soos geformuleer in Hoofstuk 5, is in LINGO 11.0 geïmplementeer. Die roeteontwerp- en skeduleringsmodel word onderskeidelik voorgestel in Aanbieding 6.1 en Aanbieding 6.2. Die sagteware is geprogrammeer om data deur middel van matrikse in te lees. Deur gebruik te maak van Microsoft Excel is die data in matrikse opgestel en versamelname daaraan gegee. Figuur 6.1 dui aan hoe die afstandmatriks tussen die hawens op die handelsroete AANA geselekteer is en die versamelnaam “AANA_kilometer” daaraan gegee is. Die matrikse word dan in LINGO 11.0 ingelees deur gebruik te maak van die @OLE funksie waarin daar verwys word na die versamelnaam wat ingelees moet word. Die afvoer van die roeteontwerpmodel en skeduleringsmodel is gestoor op Microsoft Word [43] dokumente en is beskikbaar op die meegaande elektroniese gids, Bylaag B.

AANA_KILOMETER										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
27	AANA_AFSTAND									
28										
29	VAN/NA	BRISBANE	BUSAN	KAOHSIUNG	MELBOURNE	NINGBO	OSAKA	SHANGHAI	SYDNEY	YOKOHAMA
30	BRISBANE	0	6228	5661	1514	6144	6012	6260	667	5967
31	BUSAN	6228	0	1383	7760	887	542	670	6914	979
32	KAOHSIUNG	5661	1383	0	7184	702	1725	941	6337	2051
33	MELBOURNE	1514	7760	7184	0	7663	7527	7777	856	7483
34	NINGBO	6144	887	702	7663	0	1303	422	6817	1649
35	OSAKA	6012	542	1725	7527	1303	0	1124	6680	527
36	SHANGHAI	6260	670	941	7777	422	1124	0	6928	1543
37	SYDNEY	667	6914	6337	856	6817	6680	6928	0	6634
38	YOKOHAMA	5967	979	2051	7483	1649	527	1543	6634	0

Figuur 6.1: Versamelname gegee aan data matrikse in Microsoft Excel.

Aanbieding 6.1: Die geïmplementeerde roeteontwerpmodel

```

MODEL:
SETS:
HAWE :           ! Die hawens in handelsroete;
    RITTE_NODIG; ! Aantal ritte vertrek vanuit hawe;
VTIPE:           ! Tipe bote;
    GAS,         ! gram CO2 vrystelling per kilometer;
    VKAP,        ! Skip se kapasiteit in TEU;
    DWT;         ! Skip se dooie gewig draermoe in ton;
HXH( HAWE, HAWE ) :
    VRAAG,       ! Aantal houe wat vervoer moet word;
    DWT_VRAG,    ! Gewig van houe wat vervoer moet word;
    HKAP,        ! Hawens se maksimum kapasiteit in TEU;
    AFSTAND,     ! Afstand in kilometer tussen stede;
    FREKWENSIE,  ! Aantal keer wat hawens besoek moet word;
    HERHALING;   ! Aantal keer wat 'n rit herhaal moet word.
VXHXH( VTIPE, HAWE, HAWE ):
    X,           ! Aanduiding of skip gebruik word(0 of 1);
    EMISSIE;     ! Totale gram CO2 vrystelling
ENDSETS

DATA:
    VTIPE,        GAS,        VKAP,        DWT =
    SMALL_FEEDER  12.30      1000        50638
    FEEDER        11.61      2000        53644
    FEEDEMAX      10.93      3000        56968
    PANAMAX       9.67       5100        64407
    POST_PANAMAX  5.39      10000       115572
    NEW_PANAMAX   3.90      14500       159737
    ULCV          3.17      18000       196457;
    HAWE          = @OLE( '\lingo\samples\ANL.DATA.xlsx', 'AANA.HAWENS' );
    VRAAG         = @OLE( '\lingo\samples\ANL.DATA.xlsx', 'AANA.VRAAG' );
    DWT_VRAG      = @OLE( '\lingo\samples\ANL.DATA.xlsx', 'AANA.DWT' );
    AFSTAND       = @OLE( '\lingo\samples\ANL.DATA.xlsx', 'AANA.KILOMETER' );
    HKAP          = @OLE( '\lingo\samples\ANL.DATA.xlsx', 'AANA.HAWE.KAPASITEIT' );
    FREKWENSIE    = @OLE( '\lingo\samples\ANL.DATA.xlsx', 'AANA.FREKWENSIE' );
    VEREISTE_BENUTTING = 0.849;
ENDDATA

SUBMODEL AANA:
MIN= @SUM( VXHXH( V, I, J ): X( V, I, J ) * EMISSIE( V, I, J ) );

@FOR( VXHXH( V, I, J ):
    EMISSIE = GAS( V ) * AFSTAND( I, J ) );

@FOR ( HAWE( I ):
    RITTE_NODIG( I ) = @SUM( VXHXH( V, I, J ): X );

@FOR ( HXH( I, J ):
    HERHALING( I, J ) = @SUM( VXHXH( V, I, J ): X );

@FOR( HXH( I, J ):
    HERHALING( I, J ) >= FREKWENSIE( I, J );

@FOR( VXHXH( V, K, K ):
    @SUM( VXHXH( V, I, J ): X( V, I, K ) ) =
    @SUM( VXHXH( V, I, J ): X( V, K, J ) );

```

```

@FOR( HXH(I,J):
    @SUM(VXHXH(V,I,J):X(V,I,J)*VKAP(V))>= VRAAG(i,j));

@FOR(HXH(I,J):
    @SUM(VXHXH(V,I,J):X(V,I,J)*DWT(V)/VKAP(V))>=
    @SUM(HXH(I,J):DWT_VRAG(I,J)/VRAAG(I,J)));

@FOR( VXHXH (V,I,J):
    HKAP(I,J)*X(V,I,J)>=VKAP(V)*X(V,I,J));

@FOR(VXHXH( V, I, J): @GIN( X(V,I,J)));

@SUM(HXH(I,J):VRAAG(i,j))/@SUM(VXHXH(V,I,J): X(V,I,J)*VKAP(V))>=
    VEREISTE_BENUTTING;
ENDSUBMODEL

CALC:
    @SOLVE(AANA);
ENDCALC
END

```

Aanbieding 6.2: Die geïmplementeerde skeduleringsmodel

```

MODEL:
SETS:
    HAWES:
        IN;          !Aantal skepe by hawe i geplaas;
    HXH(HAWES, HAWES):
        DAE;          !Tyd vanaf hawe i na hawe j in periodes;
    HXHXT( HAWES, HAWES, TYD):
        RIT;          !Aantal skepe wat weg trek by hawe i oppad na hawe j in periode t;
    HXHXTS( HXH, TYD):
        ND;           !Vragte: oorsprong, bestemming, periode_gereed en aantal_vragte;
    HXHXTXT( HXHXTS, TYD) :
        XD;           !skip arriveer by hawe i op tyd s en vertrek na hawe j op tyd t, s<=t;
ENDSETS

DATA:
    WMAKS          = 7;      ! Maksimum tydperiodes wat n vrag mag wag;
    GEWIG           = .01;    ! Gewig gekoppel aan die dae wat n vrag wag;
    VKAP            = 1;      ! Skip kapasiteit in aantal vragte;
    TYD             = 1..42;  ! Aantal tydperiodes in handelsroete se skedule;
    HAWES           = @OLE('\\\\lingo\\\\samples\\\\ANL\\DATA2.xlsx','AANA.HAWENS');
    DAE             = @OLE('\\\\lingo\\\\samples\\\\ANL\\DATA2.xlsx','AANA.SPOED');
    HXHXTS, ND      = @OLE('\\\\lingo\\\\samples\\\\ANL\\DATA2.xlsx','AANA.VRAGTED');
ENDDATA

SUBMODEL AANA:
    MIN = NVEH + GEWIG*VERTRAGING;
    NVEH = @SUM( HAWES(j): IN(j));
    VERTRAGING = @SUM( HXHXTXT(i,j,s,t): (t-s)*XD(i,j,s,t));

    @FOR( HAWES(k):
        IN(k) = @SUM( HAWES(j): RIT(k,j,1));
    @FOR( TYD( t) | t #GT# 1:
        @SUM( HAWES(i):@SUM( TYD(s) | s+DAE(i,k) #EQ# t: RIT(i,k,s)))

```

```

= @SUM( HAWK(j): RIT(k,j,t));););

@FOR( HXHT(i,j,t):
@SUM( HXHTXT( i,j,s,t) | t-WMAKS #LE# s #AND# s #LE# t: XD(i,j,s,t))
<= VKAP*RIT(i,j,t)););

@FOR( HXHTS(i,j,s):
@SUM( HXHT( i,j,t) | t-WMAKS #LE# s #AND# s #LE# t: XD(i,j,s,t))
= ND(i,j,s)););

@FOR( HXHT(i,j,t): @GIN( RIT(i,j,t)));
ENDSUBMODEL

CALC:
@SOLVE(AANA);
ENDCALC
END

```

6.3 Verifieer resultate

Verwys na handelsroete AANA wat voorgestel word in Tabel 6-1. Die tabel dui aan dat handelsroete AANA 'n 17 537km lange handelsroete is wat 42 dae neem om te voltooi en dat 6 Panamax skepe tans daarop roteer. Die tabel dui verder aan dat 233 802 houers in 6 weke op die handelsroete vervoer word en dat kliënte op die handelsroete tans vereis dat daar 'n skip elke 7 dae by al die hawens op die handelsroete moet aan kom. Daar word in totaal $17\,537 \times 6 = 105\,222$ km in die 6 weke siklus afgelê en Panamax skepe skei 9,67 gram CO₂ af per kilometer. Die som kan dan gemaak word dat daar tans in totaal $105\,222 \times 9,67 = 1\,017\,496,74$ gram CO₂ vrygestel word op die handelsroete. Laastens 6 Panamax skepe vervoer elk 9 vragte gedurende die 6 weke siklus, in totaal word daar $9 \times 6 = 54$ vragte vervoer. 'n Panamax skip bied 'n kapasiteit van 5100 TEU met elke rit. Daar word in totaal 'n kapasiteit van $5100 \times 54 = 275\,400$ TEU gebied op die handelsroete en met die vervoer van 233 802 houers word $(233\,802 / 275\,400) \times 100 = 84,895\%$ van hierdie kapasiteit benut. Deur hierdie waardes te vergelyk met die afvoer van die roeteontwerpmodel in Aanbieding 6.3, kan gesien word dat die waardes ooreenstem. Om hierdie rede word die afvoer van die roeteontwerpmodel as geldig beskou. Dit wil sê teen die huidige vereiste kapasiteitsbenutting van skepe op handelsroete AANA kan die vrystelling van CO₂ gasse nie verminder word nie. Hierdie verifiëring is vir elke handelsroete gedoen.

AANA		
Houers en gewig		
233 802 houers		
2 799 090 ton		
Bote		
6 Panamax		
Diensvereiste		
7 Dae		
Roete		
Hawe	Dae	Km
Yokohama	1	0
Osaka	2	527
Busan	3	542
Shanghai	5	670
Ningbo	6	422
Kaohsiung	8	702
Melbourne	24	7 184
Sydney	26	856
Brisbane	28	667
Yokohama	42	5 967
Totaal		17 537

Tabel 6-1: Inligting beskikbaar oor handelsroete AANA.

Aanbieding 6.3: Roete ontwerp model se afvoer met handelsroete AANA.

OPLOSSING			
AANTAL BOOT RITTE NODIG = 54			
TOTALE AFSTAND AFGELE (km) = 105222			
TOTALE GRAM CO2 EMISSIES = 1017496.7			
TOTALE AANTAL HOERS = 233802			
VLOOT KAPASITEIT GEBIED= 275400			
VLOOT KAPASITEIT BENUT = 84.895			
BOTE MOET AS VOLG BEWEEG:			
TIPE SKIP	VAN	NA	# SKEPE
PANAMAX	BRISBANE	YOKOHAMA	6
PANAMAX	BUSAN	SHANGHAI	6
PANAMAX	KAHOSIUNG	MELBOURNE	6
PANAMAX	MELBOURNE	SYDNEY	6
PANAMAX	NINGBO	KAHOSIUNG	6
PANAMAX	OSAKA	BUSAN	6
PANAMAX	SHANGHAI	NINGBO	6
PANAMAX	SYDNEY	BRISBANE	6
PANAMAX	YOKOHAMA	OSAKA	6

Kliënte op die handelsroete AANA het 'n diensvereiste van 7 dae. Dit beteken dat daar elke 7 dae 'n vraag gereed word om vervoer te word en dat al hierdie vragte binne 'n maksimum van 7 dae (tydsperiodes) opgelaaï moet word sedert die tydperiode waarop dit beskikbaar geraak het om vervoer te word. Die tydsperiodes van wanneer al die vragte in die 6 weke siklus gereed word om vervoer te word, word bereken deur 7 tydperiodes by te tel op alle opeenvolgende ritte tussen al die hawe kombinasies. Hierdie tydperiodes mag nie 42 dae, die tyd wat die neem om die handelroete te voltooi, oorskrei nie. Gestel in week 3 op tydperiode 40 is daar 'n vraag gereed om van Sydney na Brisbane vervoer te word. In week 4 sal daar weer 'n vraag op tydperiode $(40 + 7) - 42 = 5$ gereed wees om vervoer te word. Die tydperiodes waarop al 54 vragte gereed sal wees om vervoer te word, word in Tabel 6-2 voorgestel. Die skeduleringsmodel gebruik hierdie tydperiodes om die vlootgrootte te hersien deur vas te stel wat die minimum aantal skepe is wat nodig word om hierdie vragte tydig te kan bedien.

AANA						
Vragte gereed						
Hawe	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
Yokohama	1	8	15	22	29	36
Osaka	2	9	16	23	30	37
Busan	3	10	17	24	31	38
Shanghai	5	12	19	26	33	40
Ningbo	6	13	20	27	34	41
Kaohsiung	8	15	22	29	36	1
Melbourne	24	31	38	3	10	17
Sydney	26	33	40	5	12	19
Brisbane	28	35	42	7	14	21
Yokohama	-	-	-	-	-	-

Tabel 6-2: Tydperiodes waarop die vragte van roeteontwerp model se ritte beskikbaar word om vervoer te word.

Die afvoer van die skeduleringsmodel word voorgestel in Aanbieding 6.4. Dit dui aan dat daar volgens die model 6 skepe nodig sal wees om al 54 vragte op die handelsroete binne 7 dae sedert die tydperiode waarop dit gereed is om vervoer te word, op te laai. Die model stel voor dat skepe presies geskeduleer moet word soos wat skepe tans op die handelsroete in Tabel 6-1 beweeg. Die afvoer van die skeduleringsmodel stem ooreen met huidige operasionele bedrywighede en om hierdie rede word die afvoer van die model as geldig beskou. Die afvoer dui addisioneel aan waar die 6 skepe in die sisteem geplaas moet word. Hierdie informasie is waardevol wanneer die ontwerp van roetes verander en daar van subroetes gebruik gemaak word. Dit help om die skepe bynaderend 7 dae uit mekaar in die sisteem te plaas.

Aanbieding 6.4: Skeduleringsmodel se afvoer met handelsroete AANA.

```

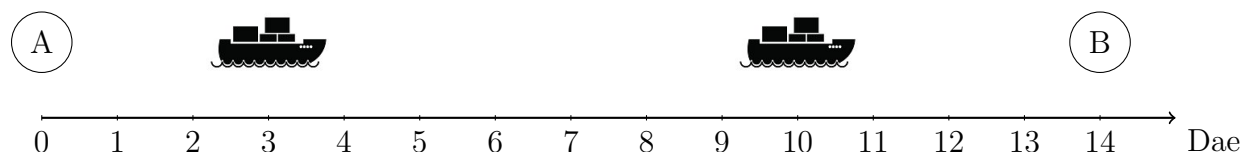
OPLOSSING
AANTAL SKEPE NODIG= 6

PLAAS SKEPE IN SISTEEM AS VOLG:
HAWE      # SKEPE
BRISBANE      1
KAOHSIUNG     1
SHANGHAI      3
SYDNEY        1

SKEEP BEWEGINGS
VERTREK  OORSPRONG  BESTEMMING  ARRIVEER  #SKEPE
7        YOKOHAMA   OSAKA       8         1
8        OSAKA      BUSAN       9         1
9        BUSAN      SHANGHAI    11        1
11       SHANGHAI   NINGBO     12        1
12       NINGBO     KAOHSIUNG  14         1
14       KAOHSIUNG  MELBOURNE  30         1
30       MELBOURNE  SYDNEY     32         1
32       SYDNEY     BRISBANE   34         1
34       BRISBANE   YOKOHAMA   48         1
...

```

Volgens die definisie van lynvaart moet skepe volgens 'n uitgespreide patroon op 'n handelsroete vaar om sodoende die tydinterval tussen die aankoms van skepe by hawens konstant te hou. Die realiteit is egter dat skepe slegs in die sisteem geplaas kan word by hawens. Hiervandaan moet skepe vaar na die posisies waar dit 'n uitgespreide patroon teenoor mekaar sal hê. Dit verduidelik waarom die afvoer van die skeduleringsmodel in sekere gevalle meer as een skip by dieselfde hawe in die sisteem plaas. Die spasiëring van die skepe word aan die hand van Figuur 6.2 verduidelik. Die figuur dui aan dat om skepe 7 dae uit mekaar te spasieer tussen hawe A en hawe B moet die skepe 7 dae na mekaar op die boog geplaas word by hawe A. Figuur 6.3 dui grafies aan waar en hoeveel skepe die taktiese model voorstel in die sisteem geplaas moet word. Die 3 skepe wat by Shanghai in die sisteem geplaas moet word, moet elk 7 dae uit mekaar op die boog na Ningbo ontplooi word. Dit is nodig om skepe 7 dae uit mekaar te spasieer op die lang boog wat volg vanaf China na Australië.



Figuur 6.2: Uitspreiding van skepe op 'n boog tussen hawens.



Figuur 6.3: Plasing van skepe in sisteem volgens skeduleringsmodel se afvoer.

6.4 Betroubaarheid van resultate

Die betroubaarheid van die modelle se afvoer is getoets deur die modelle op die beskikbare data van handelsroete AANA te pas. Die afvoer van die twee modelle tydens die hersiening van die handelsroete is toe vergelyk met ANL se huidige operasionele bedrywighede daarop. Die afvoer van die twee modelle ten opsigte van die ontwerp van die handelsroete en die skedulering van skepe daarop het ooreengestem met ANL se huidige operasionele bedrywighede. Daarom word die afvoer van die modelle as betroubaar beskou en kan die modelle gebruik word om al die handelsroetes te hersien.

Alhoewel daar geen verbeteringe ten opsigte van die omgewingsimpak van operasionele bedrywighede op handelsroete AANA gevind is nie, is dit nie noodwendig die geval met al 35 van die ander handelsroetes waarop ANL vaar nie. Hierdie handelsroetes se roete ontwerp en skedulering van skepe daarop gaan op dieselfde manier as handelsroete AANA hersien word. Die resultate gaan in Hoofstuk 7 gesamentlik aangebied en bespreek word.

HOOFSTUK 7

Resultate

In hierdie hoofstuk gaan die omgewingsimpak van hersiende operasionele bedrywighede op ANL se handelsroetes in Afdeling 7.1 gesamentlik aangebied en bespreek word. Die vereiste vlootgrootte op hersiende handelroetes gaan in Afdeling 7.2 vergelyk word met ANL se huidige vlootgrootte. In Afdeling 7.3 gaan die moontlike toekomstige vermindering in die omgewingsimpak van operasionele bedrywighede met die inagneming van wêreld ekonomiese verwagte vooruitsigte verduidelik word. Die hoofstuk sluit af met 'n bespreking in Afdeling 7.4 oor ANL se algehele toekomstige potensiaal ten opsigte van die beskerming van die omgewing deur gebruik te maak van die model aangebied in die vorige hoofstuk.

7.1 Roeteontwerpmodel

Die omgewingsimpak van ANL se operasionele bedrywighede en die huidige diensnetwerk waarvolgens dit uitgevoer word, word in Tabel 7-1 opgesom. Die tabel bevat die totale afstand wat afgelê word op elke handelsroete, die totale gram CO₂ wat afgeskei word as 'n resultaat van die aantal ritte wat deur die verskillende tipe skepe voltooi word asook die persentasie van die skepe wat op handelsroetes roteer se kapasiteit wat benut word. In Tabel 7-2 word die totale moontlike vermindering in omgewingsimpak van bedrywighede opgesom wat teen dieselfde- of verbeterde kapasiteitsbenutting van skepe behaal kan word. Die tabel dui aan dat sonder om die algehele kapasiteitsbenutting van skepe negatief te beïnvloed, kan die totale gram CO₂ wat afgeskei word met 0,36% verminder word. Dit sal egter verg dat die ontwerp van die gemerkte handelsroetes (FAL1, FAL6, KIX, MEX en NEMO) aangepas moet word volgens die model se voorstel. Die nodige aanpassings om die omgewingsimpak van die vyf handelsroetes in Tabel 7-2 te verminder, sal tot gevolg hê dat die kapasiteitsbenutting van skepe met 0,04% toeneem.

ANL huidige				
Handelsroete	Afstand (km.)	Totaal gram CO ₂	Aantal ritte	% Kapasiteit benut
AANA	105 222	1 017 497	54	84,90%
AAX	71 005	686 618	35	98,42%
ACE	106 896	576 169	48	55,19%
ANZEX	150 500	1 455 335	84	84,86%
APR	22 968	266 658	12	53,90%
APX	4 837	59 495	3	61,80%
AUS	350 622	3 832 298	108	80,68%
BEX	318 791	1 718 283	198	76,72%
BOHAI	114 648	561 011	36	91,83%
CAGEMA	22 722	263 802	21	55,90%
CIMEX	146 328	570 679	84	93,30%
COLUMBUS	894 128	4 819 350	256	84,54%
EPIC	179 360	966 750	128	65,55%
FAL 1	390 984	1 446 996	198	90,83%
FAL 2	367 708	1 583 484	121	94,86%
FAL 3	445 560	1 737 684	228	77,75%
FAL 6	463 068	1 777 795	192	90,54%
FAL 7	362 263	1 412 826	198	90,09%
INDAMEX	222 592	2 033 378	80	88,15%
JAX	69 765	674 628	35	88,56%
KIX	100 842	1 038 673	42	80,65%
MANHATTAN	351 350	3 397 555	70	82,83%
MEX	347 611	1 779 452	209	90,45%
MEX 3	294 020	1 584 768	180	86,27%
NEMO	531 609	5 192 184	234	84,16%
PEARL RIVER	119 076	464 396	42	79,48%
PERKINS	11 432	140 614	6	61,80%
PEX 3	396 055	3 829 852	132	98,37%
PNW	108 184	1 182 451	40	87,25%
PSW	166 250	1 607 638	49	72,43%
REX	159 383	859 074	63	55,74%
REX 3	133 091	1 286 990	63	86,20%
SAS	101 670	620 526	48	63,77%
TTZ	21 648	236 613	21	88,20%
YANGSTE	123 468	665 493	36	82,67%
Totaal	7 775 656	51 347 016	3 354	80,24%

Tabel 7-1: ANL en die omgewingsimpak van huidige operasionele bedrywighede.

ANL hersien				
Handelsroete	Afstand (km.)	Totaal gram CO ₂	Aantal ritte	% Kapasiteit benut
AANA	105 222	1 017 497	54	84,90%
AAX	71 005	686 618	35	98,42%
ACE	106 896	576 169	48	55,19%
ANZEX	150 500	1 455 335	84	84,86%
APR	22 968	266 658	12	53,90%
APX	4 837	59 495	3	61,80%
AUS	350 622	3 832 298	108	80,68%
BEX	318 791	1 718 283	198	76,72%
BOHAI	114 648	561 011	36	91,83%
CAGEMA	22 722	263 802	21	55,90%
CIMEX	146 328	570 679	84	93,30%
COLUMBUS	894 128	4 819 350	256	84,54%
EPIC	179 360	966 750	128	65,55%
FAL 1	390 984	1 438 039	198	91,03%
FAL 2	367 708	1 583 484	121	94,86%
FAL 3	445 560	1 737 684	228	77,75%
FAL 6	463 068	1 765 425	192	90,58%
FAL 7	362 263	1 412 826	198	90,09%
INDAMEX	222 592	2 033 378	80	88,15%
JAX	69 765	674 628	35	88,56%
KIX	100 842	1 015 388	42	81,01%
MANHATTAN	351 350	3 397 555	70	82,83%
MEX	347 611	1 671 730	209	90,98%
MEX 3	294 020	1 584 768	180	86,27%
NEMO	531 609	5 157 410	234	84,31%
PEARL RIVER	119 076	464 396	42	79,48%
PERKINS	11 432	140 614	6	61,80%
PEX 3	396 055	3 829 852	132	98,37%
PNW	108 184	1 182 451	40	87,25%
PSW	166 250	1 607 638	49	72,43%
REX	159 383	859 074	63	55,74%
REX 3	133 091	1 286 990	63	86,20%
SAS	101 670	620 526	48	63,77%
TTZ	21 648	236 613	21	88,20%
YANGSTE	123 468	665 493	36	82,67%
Totaal	7 775 656	51 159 908	3 354	80,28%

Tabel 7-2: Die moontlike vermindering in die omgewingsimpak van operasionele bedrywighede teen huidige vereiste kapasiteitsbenutting van skepe.

Die 0,04% toename in die kapasiteitsbenutting van ANL se vloot word verduidelik deur Tabel 7-3 en Tabel 7-4 met mekaar te vergelyk. Tabel 7-3 dui aan hoeveel ritte tans deur elke tipe skip op die handelsroetes voltooi word. Tabel 7-4 dui aan hoe die hersiende ontwerp van die handelsroetes die aantal ritte wat deur elke tipe skip gevaar moet word, beïnvloed. Die aanpassings op handelroete KIX is 'n goeie voorbeeld hoe die vrystelling van CO₂ gasse verminder kan word terwyl die vereiste kapasiteitsbenutting van skepe op die handelsroete nagekom word. Die model stel voor dat drie ritte voltooi moet word deur 'n groter tipe skip, wat toelaatbaar is op die handelsroete, maar nie tans daarop vaar nie. Verder moet daar 11 addisionele ritte deur die kleinste tipe skip, wat reeds op die handelsroete vaar, voltooi word om die vereiste kapasiteitsbenutting van skepe op die handelsroete na te kom. Alhoewel die aantal ritte wat deur elke tipe skip op die handelsroetes voltooi moet word verander met die hersiende ontwerp van die handelsroetes, bly die totale aantal ritte wat voltooi moet word egter konstant.

ANL huidige								
Handelsroete	S_F	F	F_M	P	P_P	N_P	ULCV	Totaal
FAL 1						144	54	198
FAL 6						176	16	192
KIX			21	21				42
MEX					171	38		209
NEMO			18	216				234
Totaal	0	0	39	237	171	358	70	875

Tabel 7-3: Aantal ritte wat tans voltooi word deur elke tipe skip op die handelsroetes.

ANL hersien								
Handelsroete	S_F	F	F_M	P	P_P	N_P	ULCV	Totaal
FAL 1						147	51	198
FAL 6						176	16	192
KIX			32	7	3			42
MEX					174	35		209
NEMO			49	173	12			234
Totaal	0	0	81	180	189	358	67	875

Tabel 7-4: Aantal ritte wat voltooi moet word deur elke tipe skip volgens die hersiende ontwerp van handelsroetes.

7.2 Skeduleringsmodel

Die afvoer van die roeteontwerpmodel is die aantal ritte wat deur elke tipe skip tussen al die hawe kombinasies op 'n handelsroete voltooi moet word om die omgewingsimpak van operasionele bedrywighede te minimeer. Die tydperiodes waarop die vragte wat met die betrokke ritte vervoer moet word, beskikbaar is, word gebruik as toevoer tot die skeduleringsmodel. Die skeduleringsmodel bereken dan die minimum aantal skepe wat nodig is om al die vragte tydig te kan bedien volgens die diensfrekwensie vereiste op die handelsroetes. Die resultate in Tabel 7-5 dui aan dat ANL reeds die minimum aantal skepe op handelsroetes gebruik.

Roete	Aantal skepe tans	Model stel voor	Berekeningstyd HH:MM:SS
AANA	6	6	00:00:10
AAX	5	5	00:00:03
ACE	6	6	00:00:08
ANZEX	7	7	00:00:44
APR	2	2	00:00:00
APX	1	1	00:00:00
AUS	6	6	00:04:50
BEX	11	11	00:13:34
BOHAI	6	6	00:00:04
CAGEMA	3	3	00:00:01
CIMEX	7	7	00:00:42
COLUMBUS	16	16	00:22:05
EPIC	8	8	00:05:53
FAL 1	11	11	00:10:24
FAL 2	11	11	00:01:46
FAL 3	12	12	00:18:57
FAL 6	12	12	00:06:41
FAL 7	11	11	00:04:46
INDAMEX	8	8	00:00:37
JAX	5	5	00:00:04
KIX	6	6	00:00:05
MANHATTAN	10	10	00:00:23
MEX	11	11	00:15:50
MEX 3	10	10	00:06:54
NEMO	13	13	00:20:39
PEARL RIVER	6	6	00:00:04
PERKINS	2	2	00:00:00
PEX3	11	11	00:03:18
PNW	4	4	00:00:18
PSW	7	7	00:00:10
REX	7	7	00:00:16

REX 3	7	7	00:00:11
SAS	6	6	00:00:10
TTZ	3	3	00:00:01
YANGSTE	6	6	00:00:04
Totaal	263	263	2:19:52

Tabel 7-5: ANL se huidige vlootgrootte teenoor die afvoer van die skeduleringsmodel.

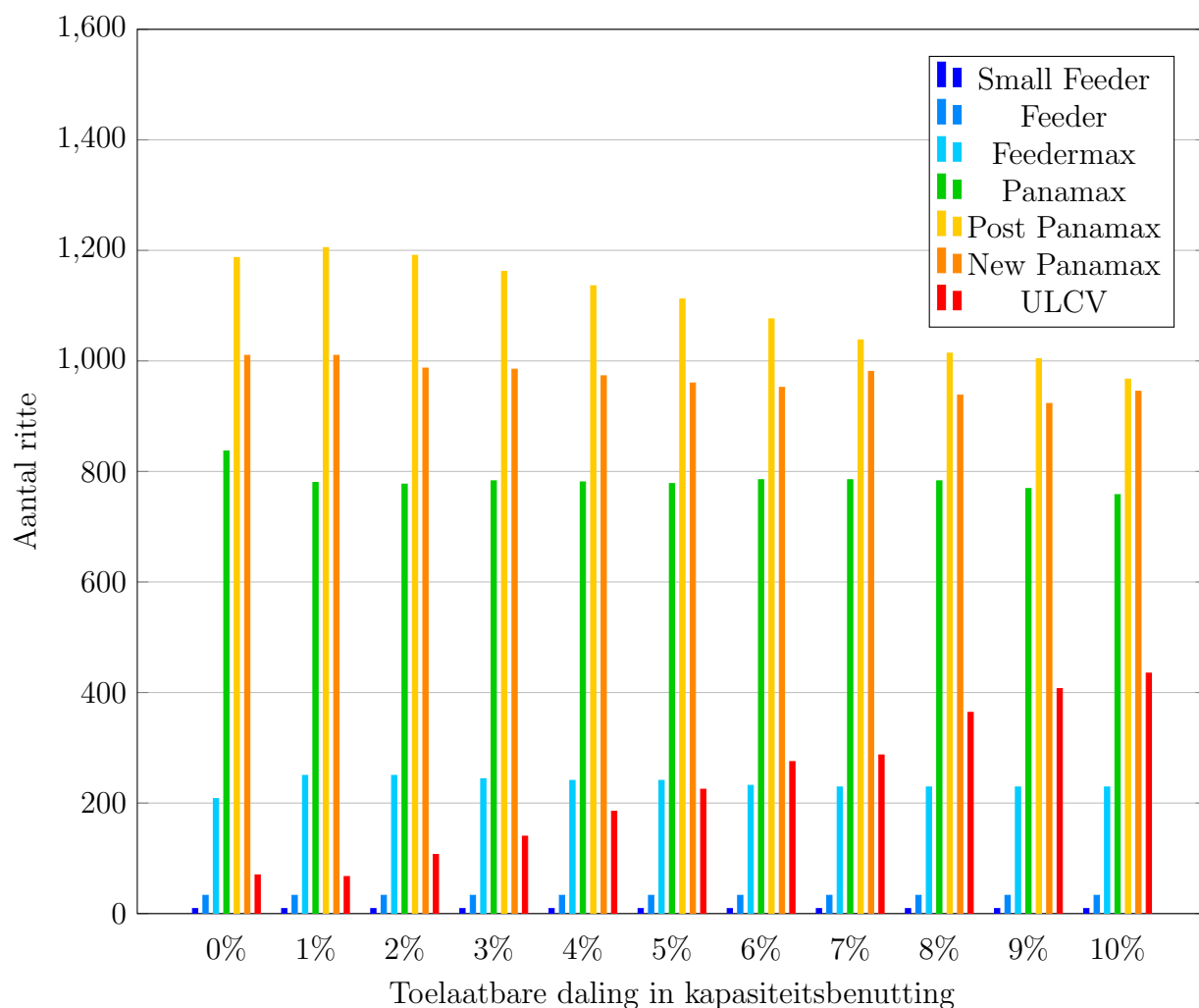
7.3 Sensitiwiteit van model

'n Wiskundige model word gedefinieer deur 'n reeks van vergelykings, veranderlikes en parameters wat daarop gemik is om die proses wat ondersoek word, te weerspieël. 'n Sensitiwiteitsanalise is die proses waartydens uitkomst van 'n model herbereken word onder alternatiewe aannames om die impak van veranderlikes en/of parameters te bepaal. Dit is nuttig vir 'n groter begrip oor die verhouding tussen toevoer en afvoer veranderlikes in die model.

Die roeteontwerpmodel se sensitiwiteitsanalise word opgesom in Tabel 7-6 en Figuur 7.1. Tabel 7-6 dui aan dat daar 'n positiewe verhouding is tussen kapasiteitsbenutting (%KB) van skepe en die gram CO₂ wat afgeskei word. Soos die vereiste %KB daal kan die model groter en groener skepe in die sisteem plaas wat minder CO₂ per TEU-km afskei. Die gebruik van groter skepe word egter steeds beperk deur die verenigbaarheid van skepe en hawens en dus is die totale moontlike afname in die vrystelling van CO₂ gasse ook beperk. Die tabel dui verder aan dat daar 'n negatiewe verhouding is tussen die vereiste %KB van skepe en die totale afstand en aantal ritte wat op handelsroetes afgelê word. Addisionele ritte kom voor wanneer groter skepe op 'n enkel been in 'n handelsroete gebruik word en leeg terug keer om 'n geslote lus te vorm. Dus indien die vereiste %KB van skepe dit toelaat en indien die afstand wat afgelê word met die groter skip dit regverdig deurdat dit 'n addisionele afname in CO₂ tot gevolg het teenoor die oorspronklike ontwerp van die handelsroete, sal die model leë been ritte toelaat. Figuur 7.1 dui aan dat die aantal ritte wat deur ULCV skepe voltooi word, toeneem soos wat die vereiste %KB afneem. Dit is belangrik om in gedagte te hou dat die afname in die benutting van skepe se kapasiteit beïnvloed die tarief waarteen vragte vervoer kan word. Om hierdie rede kan die vereiste %KB nie eenvoudig net verminder word om omgewingsdoelwitte te behaal nie. Dit moet egter in lyn met wêreld ekonomiese vooruitsigte aangepas word om pryse konstant te hou.

% KB	Afstand (km.)	gram CO ₂	Aantal ritte	% KB
0% ↓ Toelaatbaar	0,00%	-0,36%	3 354	0,04%
1% ↓ Toelaatbaar	0,00%	-0,69%	3 354	-0,25%
2% ↓ Toelaatbaar	0,00%	-1,05%	3 356	-0,68%
3% ↓ Toelaatbaar	0,00%	-1,55%	3 358	-1,42%
4% ↓ Toelaatbaar	0,03%	-1,88%	3 358	-1,88%
5% ↓ Toelaatbaar	0,03%	-2,34%	3 362	-2,52%
6% ↓ Toelaatbaar	0,06%	-2,73%	3 362	-3,23%
7% ↓ Toelaatbaar	0,12%	-3,07%	3 370	-3,99%
8% ↓ Toelaatbaar	0,11%	-3,74%	3 374	-4,77%
9% ↓ Toelaatbaar	0,13%	-4,04%	3 376	-5,31%
10% ↓ Toelaatbaar	0,20%	-4,41%	3 382	-6,13%

Tabel 7-6: Die verhouding tussen die %KB en die afvoer van die roeteontwerpmodel.



Figuur 7.1: Die verhouding tussen kapasiteitsbenutting en die aantal ritte wat deur elke tipe skip voltooi moet word.

Globale groei het 3.3% in 2015 gehaal en word verwag om te versterk na 3.8% in 2016 [35]. Die verwagte groei in ontwikkelde markte verskil egter van die verwagte groei in opkomende markte. Groei in ontwikkelde markte het van 1.8% in 2014 toeneem na 2.1% in 2015 en word verwag om verder toe te neem na 2.4% in 2016. Groei in ontwikkelende markte het van 4.6% na 4.2% gedaal in 2015 en word verwag om te herstel en toe te neem na 4.7% in 2016. Die gerealiseerde groei vir 2014 en 2015 in die onderskeie markte wat in ANL se handelsroetes voorkom sowel as die verwagte groei in hierdie markte vir 2016, word in Tabel 7-7 aangedui. Tabel 7-7 dui verder aan hoe wêreldhandelsvolumes oor die afgelope twee jaar gegroei het en wat die verwagte groeikoers in 2016 is. In Hoofstuk 1 word daar in Figuur 1.1 die samehangende beweging tussen die wêreldhandelsvolumes, ekonomiese groeikoers en internasionale verskeppingsvolumes voorgestel. Die aanname dat ANL se verskeppingsvolumes teen dieselfde koers as wêreldhandelsvolumes gaan toe neem, is nie realisties nie en data oor ANL se toename in verskeppingsvolumes gedurende 2015 is nie beskikbaar nie. Gestel die aanname word gemaak dat die verskeppingsvolumes tussen die hawens wat in ANL se handelsroetes voorkom met 3% toeneem het gedurende 2015 en dat ANL eerste genader was om die vragte te vervoer. ANL kan die omgewingsimpak van operasionele bedrywighede verminder deur voorsiening vir hierdie addisionele vragte te maak op die handelsroetes opgesom in Tabel 7-8. Tabel 7-8 dui aan dat ANL die totale gram CO₂ wat afgeskei gaan word gedurende die jaar 2016, met 1.55% kan verminder sonder om die kapasiteitsbenutting van skepe negatief te beïnvloed.

Wêreld ekonomiese verwagte vooruitsigte			
	2014	2015	2016*
Wêreld	3.4	3.3	3.8
Gevorderde ekonomieë	1.8	2.1	2.4
Verenigde State	2.4	2.5	3.0
Euro Area	0.8	1.5	1.7
Duitsland	1.6	1.6	1.7
Frankryk	0.2	1.2	1.5
Italië	-0.4	0.7	1.2
Spanje	1.4	3.1	2.5
Japan	-0.1	0.8	1.2
Verenigde Koningryk	2.9	2.4	2.2
Canada	2.4	1.5	2.1
Ander	2.8	2.7	3.1
Opkomende markte en Ontwikkelende ekonomieë	4.6	4.2	4.7
Gemenebes van Onafhanklike State	1.0	-2.2	1.2
Rusland	0.6	-3.4	0.2
Rusland uitgesluit	1.9	0.7	3.3
Opkomende en ontwikkelende Asië	6.8	6.6	6.4
China	7.4	6.8	6.3
Indië	7.3	7.5	7.5

7.3 Sensitiwiteit van model

51

Ander	4.6	4.7	5.1
Opkomende en ontwikkelende Europa	2.8	2.9	2.9
Latyns-Amerika en die Karibiese Eilande	1.3	0.5	1.7
Brazil	0.1	-1.5	0.7
Mexico	2.1	2.4	3.0
Midde-Ooste, Noord-Afrika, Afghanistan en Pakistan	2.7	2.6	3.8
Saudi Arabië	3.5	2.8	2.4
Sub-Sahara Afrika	5.0	4.4	5.1
Nigerië	6.3	4.5	5.0
Suid-Afrika	1.5	2.0	2.1
Wêreld Handelsvolume	3.2	4.1	4.4
Invoere			
Gevorderde ekonomieë	3.3	4.5	4.5
Opkomende en ontwikkelende ekonomieë	3.4	3.6	4.7

Tabel 7-7: Oorsig oor die verwagte wêreld ekonomiese vooruitsigte [35].

Vermindering in omgewingsimpak met 'n 3% toelaatbare daling in kapasiteitsbenutting.				
Handelsroete	Afstand (km.)	Totaal gram CO ₂	Aantal ritte	% Kapasiteit benut
AANA	105 222	1 017 497	54	84,90%
AAX	71 005	686 618	35	98,42%
ACE	106 896	568 362	48	52,25%
ANZEX	150 500	1 455 335	84	84,86%
APR	22 968	266 658	12	53,90%
APX	4 837	59 495	3	61,80%
AUS	350 622	3 832 298	108	80,68%
BEX	318 837	1 703 810	200	74,28%
BOHAI	114 648	561 011	36	91,83%
CAGEMA	22 722	263 802	21	55,90%
CIMEX	146 328	570 679	84	93,30%
COLUMBUS	894 128	4 773 395	256	81,53%
EPIC	179 446	965 520	130	63,37%
FAL 1	390 984	1 382 851	198	88,39%
FAL 2	367 708	1 518 681	121	92,96%
FAL 3	445 560	1 729 516	228	74,74%
FAL 6	463 068	1 704 616	192	87,98%
FAL 7	362 263	1 384 023	198	87,22%
INDAMEX	222 592	2 033 378	80	88,15%
JAX	69 765	674 628	35	88,56%
KIX	100 842	1 000 460	42	77,98%
MANHATTAN	351 350	3 397 555	70	82,83%
MEX	347 611	1 556 362	209	87,48%

MEX 3	294 020	1 491 658	180	83,35%
NEMO	531 609	5 108 348	234	81,34%
PEARL RIVER	119 076	464 396	42	79,48%
PERKINS	11 432	140 614	6	61,80%
PEX 3	396 055	3 829 852	132	98,37%
PNW	108 184	1 182 451	40	87,25%
PSW	166 250	1 607 638	49	72,43%
REX	159 383	859 074	63	55,74%
REX 3	133 091	1 240 167	63	83,64%
SAS	101 670	620 526	48	63,77%
TTZ	21 648	236 613	21	88,20%
YANGSTE	123 468	665 493	36	82,67%
Totaal	7 775 788	50 553 379	3 358	79,11%
Effek	0,002%	-1,55%	4	-1,42%

Tabel 7-8: Omgewingsvriendelike potensiaal met 'n 3% toename in verskeppingsvolumes.

7.4 Volle potensiaal van model

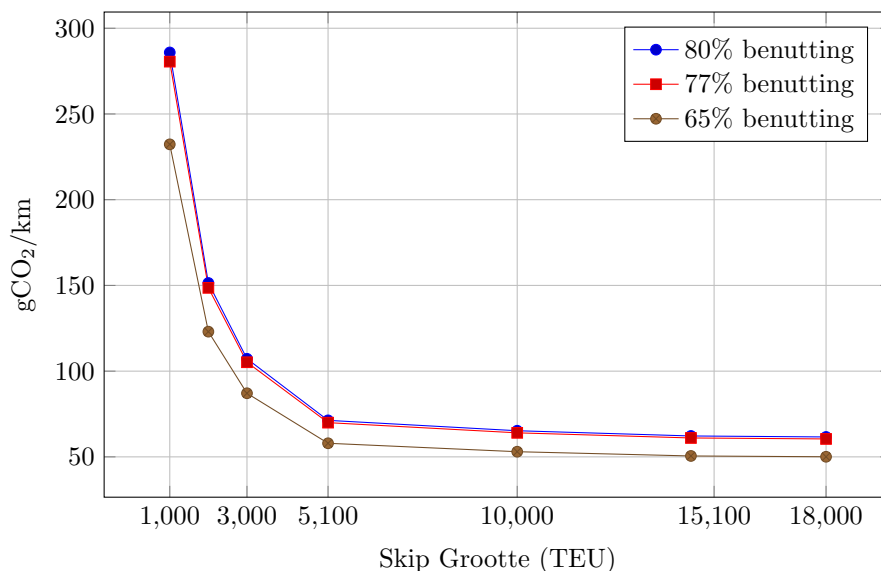
Die vermindering in die omgewingsimpak van operasionele bedrywighede op handelsroetes word nie slegs deur die vereiste kapasiteitsbenutting van skepe op die handelsroetes beperk nie maar ook deur die verenigbaarheid tussen die verskillende tipe skepe en hawens op die onderskeie handelsroetes. Die optimale vermindering in die omgewingsimpak van operasionele bedrywighede kan bepaal word deur geen vereistes kapasiteitsbenutting aan skepe op die handelsroetes te stel nie. Tabel 7-9 dui aan dat die omgewingsimpak van bedrywighede in hierdie geval met optimaal 11,92% verminder kan word. Dit verg dat die kapasiteitsbenutting van skepe op sekere handelsroetes toegelaat moet word om tot op na 44% te daal. Internasionale verskeppingsvolumes word nie verwag om in die nabye toekoms met so 'n groot hoeveelheid toe te neem nie maar wanneer hierdie punt bereik word sal ANL nuwe strategieë moet ondersoek om die omgewingsimpak van bedrywighede verder te verminder. Hierdie strategieë gaan in die volgende bespreek word.

Optimale vermindering in omgewingsimpak op elke handelsroete				
Handelsroete	Afstand (km.)	Totaal gram CO ₂	Aantal ritte	% Kapasiteit benutting
AANA	116 970	683 061	66	40,89% (-44,01%)
AAX	71 005	686 618	35	98,42%

ACE	106 896	552 747	48	47,22%	(- 7,97%)
ANZEX	150 500	1 455 335	84	84,86%	
APR	22 968	266 658	12	53,90%	
APX	4 837	56 158	3	30,90%	(-30,90%)
AUS	350 622	3 832 298	108	80,68%	
BEX	319 297	1 559 078	220	56,36%	(-20,35%)
BOHAI	114 648	447 127	36	72,83%	(-19,00%)
CAGEMA	22 722	263 802	21	55,90%	
CIMEX	146 328	570 679	84	93,30%	
COLUMBUS	894 128	4 614 997	256	65,82%	(-18,72%)
EPIC	197 536	904 850	160	39,65%	(-25,90%)
FAL 1	390 984	1 239 419	198	77,89%	(-12,95%)
FAL 2	368 654	1 431 624	143	69,54%	(-25,32%)
FAL3	461 832	1 703 926	252	61,20%	(-16,55%)
FAL 6	463 068	1 467 926	192	74,44%	(-16,11%)
FAL 7	362 263	1 354 648	198	80,39%	(- 9,70%)
INDAMEX	222 592	1 199 771	80	48,89%	(-39,26%)
JAX	69 765	674 628	35	88,56%	
KIX	100 842	670 886	42	43,32%	(-37,33%)
MANHATTAN	351 350	1 893 777	70	42,24%	(-40,59%)
MEX	347 611	1 355 683	209	67,47%	(-22,97%)
MEX 3	294 020	1 203 894	180	65,11%	(-21,16%)
NEMO	531 609	4 894 285	234	69,99%	(-14,17%)
PEARL RIVER	119 076	464 396	42	79,48%	
PERKINS	11 432	140 614	6	61,80%	
PEX3	396 055	3 829 852	132	98,37%	
PNW	109 848	1 165 364	48	56,29%	(-30,96%)
PSW	166 250	1 607 638	49	72,43%	
REX	159 383	859 074	63	55,74%	
REX 3	133 091	724 279	63	42,41%	(-43,79%)
SAS	101 670	548 001	48	55,67%	(- 8,10%)
TTZ	21 648	236 613	21	88,20%	
YANGSTE	123 468	665 493	36	82,67%	
Totaal	7 824 968	45 225 197	3 474	65,79%	
Effek:	0,63%	-11,92%	120	-18,01%	

Tabel 7-9: Die optimale vermindering in omgewingsimpak van operationele bedrywighede.

In Afdeling 3.1 word verduidelik dat die brandstofverbruik van skepe 'n funksie is van die skepe se kapasiteit in dra vermoë wat benut word en die spoed waarteen die skepe vaar en dat die vrystelling van CO₂ gasse verband hou met brandstofverbruik. Dus beïnvloed die kapasiteitsbenutting van skepe die gram CO₂ gasse wat vrygestel word deur die skepe. Figuur 7.2 dui dan hoe die gram CO₂ wat afgeskei word per kilometer afneem soos wat die kapasiteitsbenutting van skepe daal.



Figuur 7.2: Verhouding tussen kapasiteitsbenutting van skepe en gram CO₂ vrygestel.

ANL se diensnetwerk word in Afdeling 7.1 hersien teen 80% vereiste kapasiteitsbenutting van skepe. Die resultate word in Tabel 7-2 opgesom. Die tabel dui aan dat die vrystelling van CO₂ gasse in hierdie geval met 0.36% verminder kan word deur 5 handelsroetes aan te pas. Verder in Afdeling 7.3 is daar ondersoek tot watter mate die omgewingsimpak van operationele bedrywighede verminder kan word indien die kapasiteitsbenutting van skepe toegelaat word om met 3% te daal wanneer voorsiening gemaak word vir 'n 3% verwagte toename in verskeppingsvolumes in 2016. Tabel 7-8 dui aan dat die totale gram CO₂ wat vrygestel word in hierdie geval met 1,55% verminder kan word deur operationele aanpassings op 14 handelsroetes te maak. Laastens in Afdeling 7.4 is ondersoek wat die optimale moontlike vermindering in die vrystelling van CO₂ is, in hierdie geval is daar geen vereiste kapasiteitsbenutting van skepe nie. Die resultate van die diensnetwerk word opgesom in Tabel 7-9. Indien daan geen vereiste kapasiteitsbenutting van skepe is nie sal die gemiddelde kapasiteitsbenutting van skepe daal na 65% en kan die vrystelling van CO₂ gasse met 11,92% verminder word. Dit sal verg dat die operationele bedrywighede op 21 van die 35 handelsroetes aangepas moet word. In al 3 gevalle waar ANL se netwerk

hersien is, is die brandstofverbruik van skepe bereken teen 80% benutting van die skepe se kapasiteit in dravermoë. Figuur 7.2 dui aan dat 'n 3% daling in die kapasiteitsbenutting van skepe die vrystelling van CO₂ gasse minimaal sal beïnvloed maar wanneer skepe se kapasiteitsbenutting toegelaat word om te daal na 65% word die vrystelling van CO₂ gasse oorskat in Tabel 7-9 se resultate. In die geval waar skeepvaartondernemings so groot daling in die benutting van skepe se kapasiteit oorweeg sal die effek wat die kapasiteitsbenutting van skepe het op die vrystelling van CO₂ gasse ingereken moet word.

HOOFSTUK 8

Gevolgtrekking

In Afdeling 8.1 word ANL, as deel van die CMA CGM groep, se sosiale verantwoordelike pogings bespreek. In Afdeling 8.2 word daar uiteengesit hoe die objektief van die tesis behaal is en hoe die werk aangebied in die tesis ANL ondersteun in die proses om meer omgewingsvriendelik te wees. In Afdeling 8.3 word bespreek hoe die tesis uitgebrei kan word met toekomstige werk. Die tesis sluit af met Afdeling 8.4 waarin die ondervinding gedek word wat opgedoen is tydens werkervaring en te bespreek hoe dit bydrae tot die bevindings wat gemaak is in die studie.

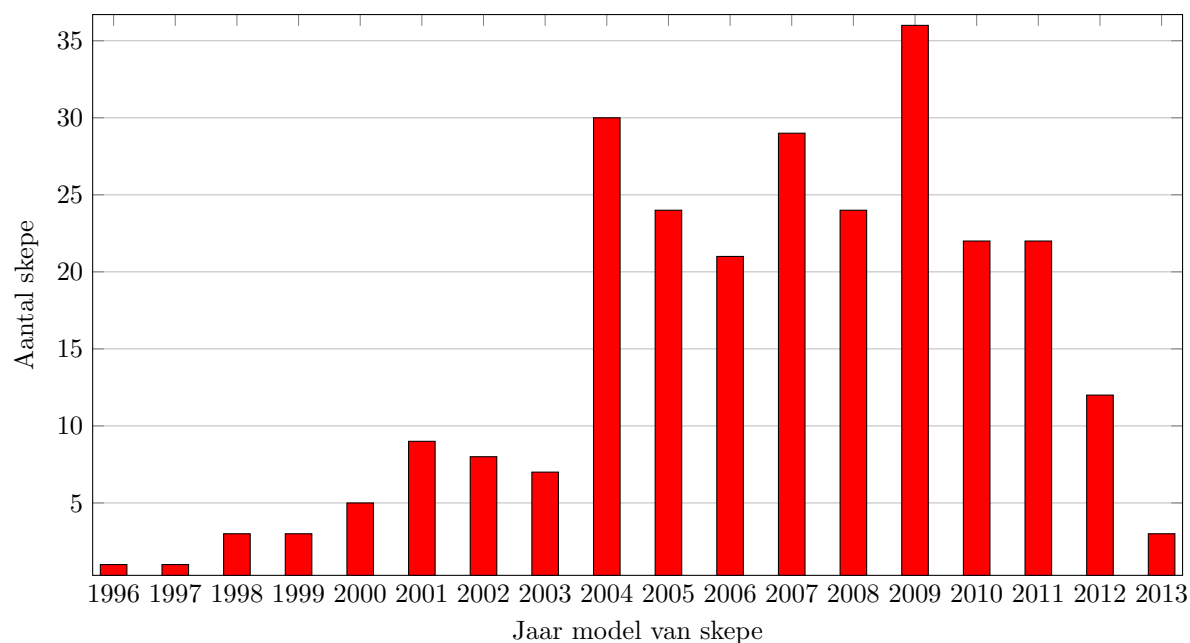
8.1 Omgewingsvriendelike pogings

Net soos ANL se moedermaatskappy, CMA CGM, is die onderneming se doelwit om aan kliënte 'n proaktiewe, innoverende en hoë kwaliteit diens te lewer wat die beskerming van die omgewing versoen. Die lynvaartindustrie oor die algemeen is getrou met sosiale verantwoordelike pogings om koolstofvrystellings te verminder. Hierdie pogings kan in 4 katagorieë verdeel word: die verbetering van doeltreffendheid, die verbetering van tegnologie, die verbetering van bedrywigheide en die vorming van vennootskappe. CMA CGM se sosiale verantwoordelike prestasies en ANL se bydrae tot hierdie prestasies gaan volgende aan die hand van hierdie 4 katagorieë bespreek word.

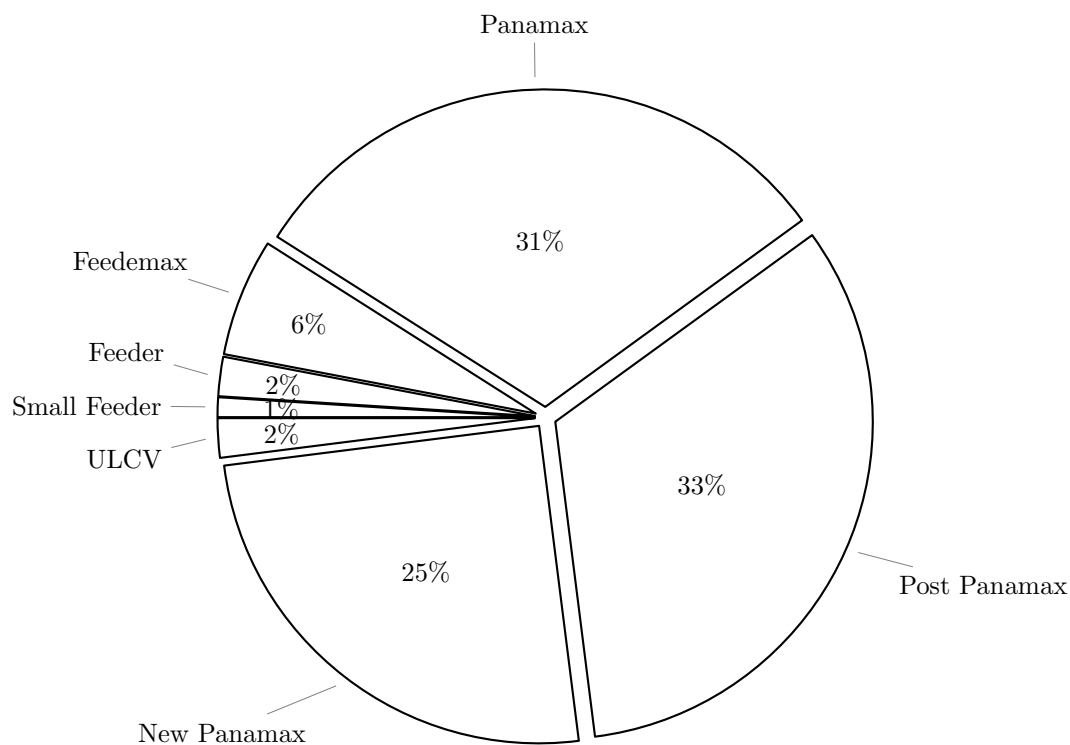
- **Verbeter doeltreffendheid:**

Die ontwerp en gebruik van groter skepe het die koolstofdoeltreffendheid van die wêreldvloot per TEU per kilometer met byna 75% verbeter gedurende die laaste 30 jaar. Die jaarmodel van die skepe in ANL se vloot word voorgestel in Figuur 8.1 en die ontwerpgrrootte van die skepe word voorgestel in Figuur 8.2. Figuur 8.1 dui aan dat die meerderheid van die skepe in ANL se vloot ontvang is gedurende 2004 - 2013

en Figuur 8.2 dui aan dat die meerderheid van die vloot uit groter tipe skepe bestaan. Dit dui daarop dat ANL reeds beleide in plek het om die koolstofdoeltreffendheid van bedrywigheide te verbeter deur te belê in nuut ontwerpte groter skepe.



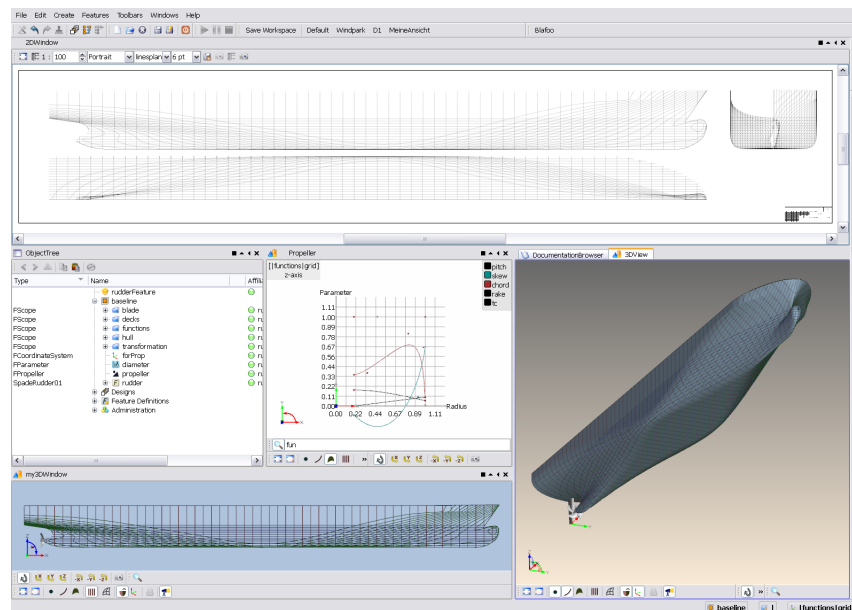
Figuur 8.1: Die ouderdom van skepe in ANL se vloot.



Figuur 8.2: Die samestelling van ANL se vloot.

- **Beter tegnologie:**

Die maritieme industrie hou aan om tegnologiese oplossings te ondersoek om die koolstofdoeltreffendheid van bedrywigheide te verminder. Huidige pogings sluit in om minimum weerstand rompe vir skepe te ontwerp, om aanboord krag benutting te verminder en om oor te skakel na meer energiedoeltreffende bronne van energie soos bio-brandstof en vloeibare aardgasse [23]. ANL het reeds 'n beleid in plek om groter skepe in hulle vloot te plaas. Die beleid sluit onder andere in: die vervanging van ou skepe met nuut ontwerpte skepe. Hierdie skepe is reeds ontvang en in die vloot geplaas gedurende 2009 - 2013. Die nuut ontwerpte skepe bevat nuwe tegnologie waarvoor ouer skepe nie beskik nie wat brandstofverbruik met gemiddeld 3% verminder. Die ontwerp van die hierdie moderne skepe se rompe verbeter die hidrodinamika van die skepe wat brandstofdoeltreffendheid nog verder verbeter. Figuur 8.3 stel voor hoe die romp van die skepe herontwerp word met die doel om die omgewingsimpak van bedrywigheide te kan verminder.

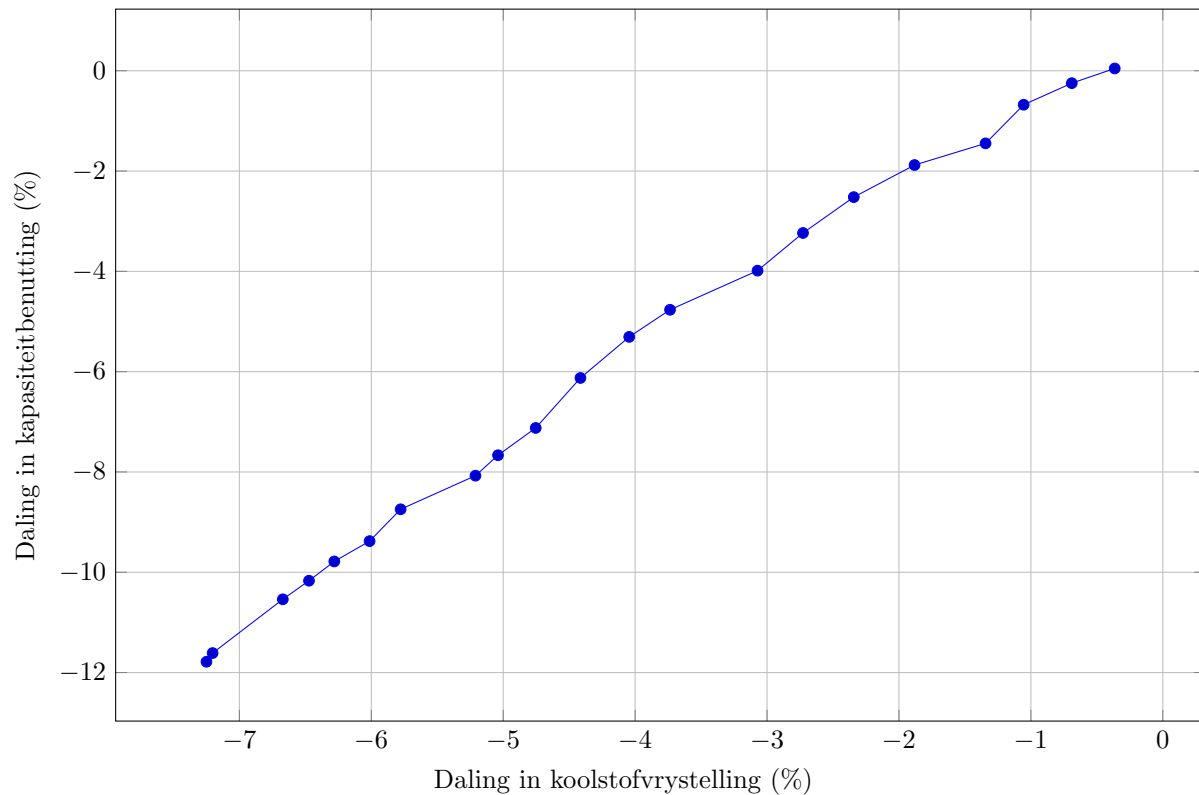


Figuur 8.3: Beter tegnologie en die beskerming van die omgewing [23].

- **Verbeter bedrywigheide:**

Lede van die maritieme industrie implementeer gevorderde informasie tegnologieë wat hulle tydens operasionele besluitneming ondersteun in die proses om meer koolstofdoeltreffend te wees. Die implementering van nuwe operationele strategieë behels tipies die aanpassings van skeeproetes, spoed en skedules. ANL het reeds die spoed van skepe verminder en die vloot handhaaf tans 'n gemiddelde spoed van 12 knope. Enige spoed laer as 12 knope sal nie brandstofverbruik of die vrystelling van kweekhuysgasse verminder nie. In hierdie werkstuk is daar ondersoek tot watter

mate die ontwerp van handelsroetes en die skedulering van skepe daarop kan bydra tot die beskerming van die omgewing. Figuur 8.4 dui aan hoe die omgewingsimpak van ANL se bedrywighede verminder kan word deur die vlootbestuurstrategie aan te pas volgens elke persentasie toelaatbare daling in die vereiste kapasiteitsbenutting van skepe.



Figuur 8.4: Die omgewingsvriendelike potensiaal van ANL wat behaal kan word deur die vlootbestuurstrategie aan te pas volgens die vereiste kapasiteitsbenutting van skepe.

- **Die vorming van vennootskappe:**

Baie lynvaartondernemings sluit aan as lede van sosiale verantwoordelike groepe. Dit behels die vrywillige nakoming van omgewingsbestuursriglyne. Lede hou rekord van hul koolstofvrystellings, stel doelwitte om dit te verminder en ondersoek maniere om dit te behaal. CMA CGM is aktief besig om koolstofvrystelling doelwitte te stel en innoverende oplossings en operasionele aanpassing te ondersoek om dit te bereik. Die onderneming probeer nie slegs lugbesoedeling verminder nie maar streef daarna om die omgewingsimpak van hulle dienste oor die algemeen te minimeer. In 2005 het CMA CGM 'n bamboes-vloer houer ontwerp. Hierdie innoverende houers verminder die gebruik van rare tropiese hout spesies. CMA CGM het in 400 TEUs belê in 2005 en het die 80 000 TEUs teikenmerk behaal in 2009, byna 10% van die maatskappy se houers is reeds vervang met die meer omgewingsvriendelike houers [24].



Figuur 8.5: CMA CGM se bamboes-vloer houer [24].

CMA CGM se pogings om die omgewing te beskerm is sigbaar in al 4 die katagorieë. Die objektief van die tesis is om ANL se operasionele bedrywigheide te hersien en vas te stel of koolstofdoeltreffendheid verbeter kan word binne die huidige situasie. Dit wil sê deur huidige diensvereistes na te kom en sonder om die kapasiteitsbenutting van skepe op die handelsroete negatief te beïnvloed terwyl alle fisiese beperkings van hawens op die handelsroetes ingereken word. Die behaling van die tesis se objektief gaan aan die hand van die objektiewe uiteengesit word soos dit geïdentifiseer is in Hoofstuk 1.

8.2 Objektiewe behaal

Die afvoer van die twee modelle wat aangebied is in die tesis dui daarop dat ANL die koolstofdoeltreffendheid van operasionele bedrywigheide kan verbeter binne die huidige situasie. Dit wil sê deur huidige diensvereistes van kliënte op handelsroetes na te kom en deur die kapasiteitsbenutting van skepe konstant te hou terwyl alle fisiese beperkings van hawens op handelsroetes in ag geneem word. Die objektiewe van die tesis is behaal as volg:

Objektief 1

a) *Identifiseer en verstaan die eienskappe en natuur van ANL se lynvaartomgewing:*

Die eienskappe wat in ANL se lynvaartomgewing voorkom word geïdentifiseer en verduidelik in Afdeling 4.2. Die natuur van ANL se lynvaartomgewing word deeglik in Afdeling 4.3 uiteengesit.

Objektief 2

- a) *Bepaal 'n benadering tot 'n oplossingsmetode vir die minimering van CO₂ emissies:*

Die benadering tot 'n oplossingsmetode is bepaal deur gebruik te maak van Ronen (1983) se klassifikasie skema om relevante literatuur te identifiseer waarin probleme met soortgelyke eienskappe as in ANL se roeteontwerp- en skeduleringsprobleem voorkom. Die relevante literatuur word in Afdeling 4.4 bespreek waarna die benadering tot 'n oplossingsmetode verduideling word in Afdeling 4.5.

- b) *Bepaal en versamel die data wat nodig is vir die oplossingsmetode:*

Die oplossingsmetode bepaal al die data wat nodig is om ANL se diensnetwerk te hersien. Die metode waarvolgens data oor ANL se diensnetwerk ingesamel is, word in Afdeling 6.1 bespreek.

Objektief 3

- a) *Formuleer die oplossingsmetode wiskundig en implementeer die model:*

Die oplossingsmetode word wiskundig geformuleer in Afdeling 5.2 en Afdeling 5.3 en die implementering van die modelle word in Afdeling 6.2 gesamentlik bespreek.

Objektief 4

- a) *Vergelyk die resultate van die modelle met werklike operasionele bedrywighede:*

Die resultate van die modelle word geverifieer deur huidige operasionele bedrywighede te vergelyk met die modelle se afvoer in Afdeling 6.3 en word as betroubaar beskou.

- b) *Ondersoek die toekomstige bydrae van die model tot die beskerming van die omgewing:*

Die toekomstige bydrae van die model word in Afdeling 7.3 bespreek waar die model wêreld ekonomiese verwagte vooruitsigte in ag neem. Die resultate dui aan dat die model koolstofdoeltreffendheid nog meer kan verbeter in die toekoms.

Objektief 5

- a) *Maak aanbevelings aan ANL hoe om die impak van huidige operasionele bedrywighede te verminder op grond van die model se resultate:*

Aanbevelings om die koolstofdoeltreffendheid van huidige operasionele bedrywighede te verbeter word ook in Afdeling 7.1 gemaak waar daar voorgestel word dat ANL die ontwerp van handelsroetes FAL1, FAL 6, KIX, MEX en NEMO moet aanpas volgens die model se resultate om totale koolstofvrystellings met 0,36% te verminder.

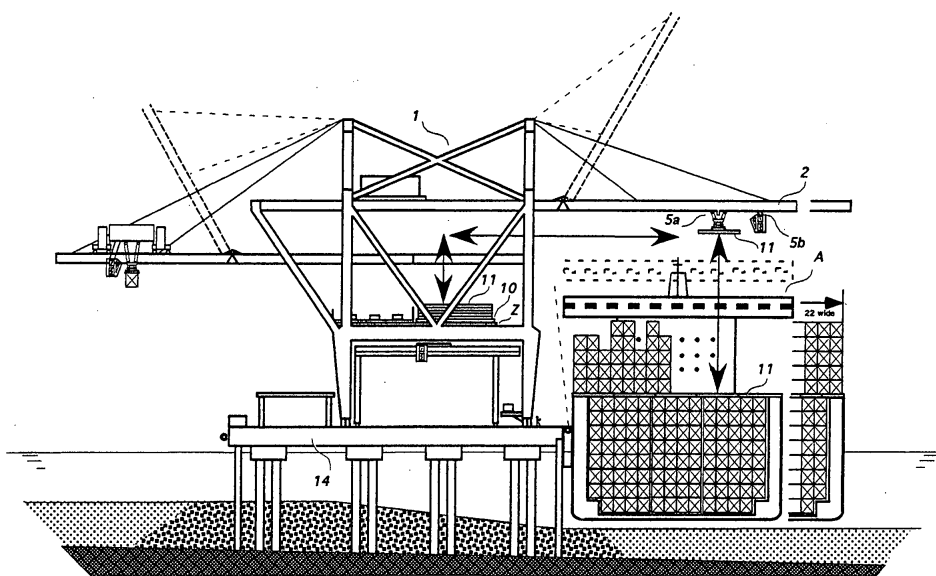
b) *Maak aanbevelings vir toekomstige uitbreidings aan die model:*

Operasionele ondersteuning word gebied deurdat die model handelsroetes identifiseer waar die roetes van skepe en/of die tipe skepe wat op die roetes gebruik word, aangepas moet word om lugbesoedeling te verminder. Aanpassings in die ontwerp van roetes en die tipe skepe wat op die roetes gebruik moet word affekteer die vlootbestuurstrategie. Die vlootbestuurstrategie word beïnvloed omdat 'n verandering in die aantal ritte wat deur elke tipe skip voltooi moet word die tydperk bepaal waaroor elke skip gebruik of benodig word. Operasionele aanpassings beïnvloed daarom die huurkontrakte van skepe wat koste implikasies tot gevolg sal hê. Die omvang van die navorsing wat aangebied is sluit nie die finansiële impak van operasionele aanpassings in nie. Daar word aangeneem dat vlootgrootte en samestelling mag verander ongeag die finansiële gevolge daarvan. Uitbreidings op die model om aspekte soos die finansiële impak van aanpassings in ag te neem gaan in Afdeling 8.3 onder toekomstige werk bespreek word.

8.3 Toekomstige werk

'n Skeepvervoeronderneming se vloot kan bestaan uit skepe wat besit word deur die onderneming saam met skepe wat gehuur word deur die onderneming. Daar is oorhoofs drie verskillende huur ooreenkomste waarvolgens skepe gehuur kan word. Die eerste tipe is waar die skip as 'n geheel vir jare gehuur word deur die onderneming. Die onderneming moet in hierdie geval al die bedryfskoste, onderhoudskoste en die bemanning van die skip betaal. Die tweede tipe huur ooreenkoms is wanneer skepe vir slegs sekere tye van die jaar gehuur word, die onderneming hoef slegs die bedryfskoste van die skip te betaal en die eienaar van die skip voorsien die bemanning. Die laaste tipe huur ooreenkoms is wanneer 'n skip slegs vir 'n reis gehuur word, met hierdie ooreenkoms word spasie op 'n skip gehuur, gewoonlik teen 'n vaste prys. Die werk wat aangebied is in hierdie tesis fokus slegs op ANL se potensiaal om die omgewingsimpak van bedrywighede te verminder ongeag hoe dit die vlootbestuurstrategie affekteer. Die kostes om 'n skip te besit verskil van die kostes om 'n skip te huur en verder verskil die kostes tussen die verskillende huurkontrakte. Toekomstige werk kan die finansiële impak van voorgestelde operasionele aanpassings deel maak van die besluitnemingsproses. Dit is belangrik omdat firmas 'n begroting met beperkte fondse het om te belê in die beskerming van die omgewing. Die model kan uitgebrei word om operasionele aanpassings te identifiseer wat koolstofvrystellings sal minimeer met beskikbare fondse. Om die model uit te brei sal data benodig word oor hoeveel skepe en die tipe skepe wat tans deur ANL besit word asook gehuur word. Verder sal inligting oor die spesifieke ooreenkomste waarvolgens skepe gehuur word benodig word om die uitgebreide model se afvoer daarmee te kan vergelyk.

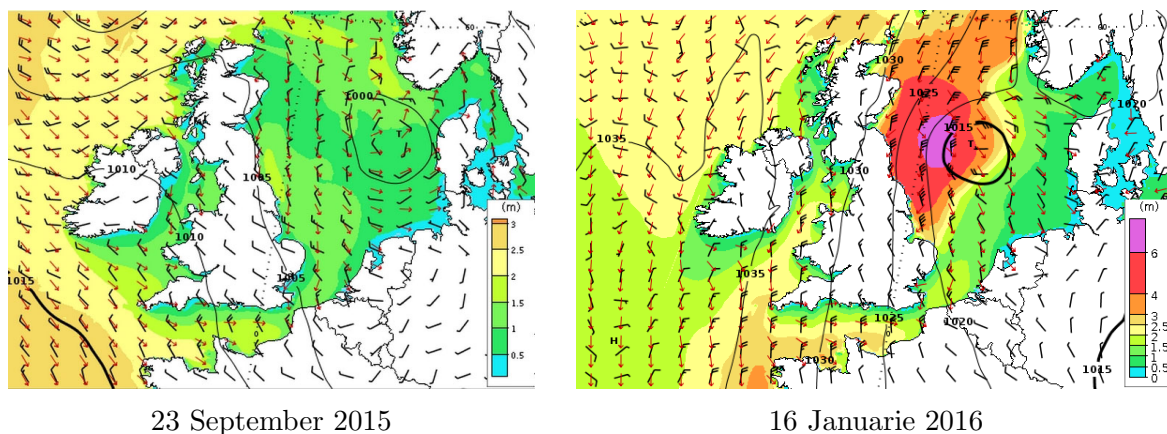
Verder kan die model uitgebrei word om die tyd wat dit neem om 'n skip op en af te laai te baseer op die grootte van die skip asook die aantal houe wat verskeep word. Dit raak al hoe meer relevant soos wat groter skepe gebruik word hetsy of vragte dieselfde bly of wanneer vragte groter word met die realisering van verwagte ekonomiese vooruitsigte. Figuur 8.6 dui aan dat die horisontale en vertikale afstand wat hanteringstoerusting moet beweeg met die hantering van verskillende tipe skepe se vragte, verskil. Navorsing sal gedoen moet word om vas te stel tot watter mate die gebruik van groter skepe en die grootte van vragte die tyd affekteer wat dit skepe neem om in en uit hawens te beweeg. ANL sluit tans hierdie tye in by die tyd wat dit 'n skip neem om tussen twee hawens te vaar.



Figuur 8.6: Vertikale en horisontale afstand wat hanteringstoerusting moet beweeg met vragte.

Kwantitatiewe bestuur en die toepassing daarvan soos voorgestel in hierdie werkstuk dui daarop dat dit lynvaartondernemings kan ondersteun in die proses om volhoubare oplossings te vind. Alhoewel die tesis voorstel dat ANL die potensiaal het om die omgewingsimpak van verskepingdienste te kan verminder bestaan daar steeds die vraag of lynvaartondernemings soos ANL dit sal oorweeg om vlootbestuurstrategieë op die model se resultate sal baseer. Daar is 'n aspek van onsekerheid met die tyd wat dit skepe sal neem om tussen hawens te vaar en of dit altyd moontlik is om tussen die hawens te vaar. Die huidige aanname in die tesis is dat die weer nie die transit tyd tussen hawens beïnvloed nie maar die weer het wel 'n impak op die prestasie van die model se voorstelle. Figuur 8.7 dui aan hoe die golfhoogte, windrigting en windsterkte verander oor seisoene. Hierdie probleem kan aangespreek word deur 'n marginale tyd by te voeg by die tyd wat

dit neem om tussen hawens te vaar of selfs historiese weervoorspellings in berekening te bring om vas te stel of dit heel jaar moontlik is om tussen alle hawe kombinasies te vaar. Verder kan kenners oor die weer of selfs die kapteine van skepe betrokke gemaak word in die ontwerpproses om die impak van weer in ag te neem. 'n Direkte roete tussen alle hawens van oorsprong en alle hawens van bestemming is nie altyd moontlik as gevolg van die weer. Hetsy omdat waters vries of golwe te groot word maak die model geen voorsiening daarvoor om dit in ag te neem nie, dit word deur middel van 'n aanname uitgesluit uit die omvang van die studie.



Figuur 8.7: Verskil in windrigting, windsterkte en golfhoogte gedurende die jaar [36].

Die werkstuk beklemtoon dat uit die data wat beskikbaar is oor ANL se diensnetwerk en die aannames wat in verband daarmee gemaak was, dat die omgewingsvoetspore van ANL se verskepingdienste wel verminder kan word. Die model se resultate dui aan dat die vermindering in die vrystelling van koolstofgasse sal verg dat operasionele aanpassings gemaak moet word. Dit sluit in dat die vlootbestuurstrategie aangepas moet word om sodoende instaat te wees om van subroetes gebruik te maak wat die vermindering in lugbesoedeling moontlik maak. Alhoewel dit CMA CGM se doelwit is om onberispelik te wees wanneer dit kom by die beskerming van die omgewing, bly geld egter altyd 'n faktor. Die finansiële impak van die voorgestelde bedryfsaanpassings is nie ingesluit in die besluitnemingsproses nie. Eerstens is data in verband met die kostes van die verskillende huurooreenkomstes nie beskikbaar nie en tweedens kan die bepalinge en voorwaardes van kontrakte verskil wanneer unieke ooreenkomste gemaak word. Dit kom daarop neer dat die resultate wat bekom is met huidige aannames verdere navorsing en die uitbreiding van die model regverdig omdat ANL die potensiaal het om die omgewingsimpak van bedrywighede te verminder. Tot watter mate omgewingsimpak verminder kan word hang egter af van die beskikbare fondse om te belê in 'n optimale saamgestelde vloot vir toekomstige ekonomiese vooruitsigte.

8.4 Praktiese ondervinding

Gedurende die tweede jaar van die studie waartydens ek die impak van roeteontwerp en skedulering van skepe op die omgewingsimpak van ANL se operationele bedrywighede ondersoek, het ek 'n werksbenadering van Freight Logistics 4U ontvang. Ek is aangestel as 'n Logistieke Koördineerder en het eerste handse ondervinding opgedoen met internasionale verskepingsslyne soos MSC en Safmarine. Die werk behels die weeklikse uitvoer van Suid-Afrika se vars vrugte vanuit Durban, Port Elizabeth en Kaapstad. Markte sluit hoofsaaklik Europa, Verenigde Koningryk en Rusland in. Wat ek geleer het in die bedryf is dat die transit tyd en prys van verskepingssdienste tussen twee hawens dinamies is. Die transit tyd en prys van dienste tussen hawens word beïnvloed deur die potensieële risiko van seerowery en gewapende aanvalle op die roete. Skepe vaar as veiligheidsmaatreël verder weg van die kuslyne met 'n hoë risiko vir seerowery.

Die Internasionale Maritieme Buro (IMB) dien as 'n gespesialiseerde afdeling van die Internasionale Kamer van Handel (ICC). Die IMB is 'n nie-winsgewende organisasie wat in 1981 gestig is om as 'n fokuspunt op te tree in die stryd teen alle vorme van maritieme misdaad en wanpraktyke. Die Internasionale Maritieme Organisie (IMO) dring daarop aan dat regerings en verskepingsondernemings saam moet werk en inligting oor aanvalle en dreigemente moet ruil tussen mekaar en die IMB vir die instandhouding en ontwikkeling van 'n gekoördineerde aksie in die stryd teen maritieme misdaad. Die IMB plaas dan die inligting in verband met seerowery en gewapende aanvalle op die internet wat eienaars en kapteine van skepe in staat stel om ingeligte besluite te neem ten opsigte van die risikos verbonde aan sekere gebiede op die see.

Seerowery word gesien as enige onwettige daad van geweld, aanhouding of plundering aan 'n skip of eiendom en persone op die skip hetsy of dit buite die jurisdiksie van 'n staat plaasvind of binne 'n staat se interne waters en territoriale see. Jaarlikse gevalle van seerowery en gewapende aanvalle word in Tabel 8-1 aangedui. Tabel 8-2 dui aan hoeveel van hierdie aanvalle op houterskepe gerig was. Die totale jaarlikse aanvalle wat gerig was op houterskepe het van 16% in 2010 afgeneem na 8% in 2014. Dit is omdat skepe langer roetes, verder weg van hoë risiko gebiede, vaar. Seerowery en gewapende aanvalle word waargeneem tot op 124 km van kuslyne af. As veiligheidsmaatreël vaar skepe buite hierdie gevaar afstand. Dit laat die afstand tussen twee hawens toe neem wat die brandstofverbruik en koolstofvrystellings op die roete laat toeneem. Die model maak gebruik van dieselfde afstande tussen hawens as wat ANL se skepe tans vaar en daar word aangeneem hierdie afstande die nodige veiligheidsmaatreëls vir die betrokke handelsroetes insluit.

'n Probleem is dat gedeeltes van subroetes wat deur die model voorgestel word, nie reeds deur ANL se skepe gevaar word nie. Die afstande in die model hiervoor is tans geneem as die kortste afstand tussen die hawens. Hierdie afstande sluit nie die nodige veiligheidsmaatreëls in nie en kan lei tot die ontwerp van subroetes met hoë risikos. Die model kan uitgebrei word op twee maniere om die risiko op handelsroetes deel te maak van die ontwerp proses. Eerstens kan subroete eliminasië gebruik word wat die ontstaan en gebruik van subroetes sal voorkom. Andersins kan die nodige veiligheidsmaatreëls in berekening gebring word op al die afstande tussen hawens waar tussen ANL se skepe nie tans vaar nie. Dit sal dit moontlik maak om nogsteeds van subroetes gebruik te maak sonder dat die verskepingslyn se skepe in gevaar gestel word.

Ligging	2010	2011	2012	2013	2014
Asië	70	80	104	128	141
Verre Ooste	44	23	7	13	8
Indië	28	16	19	26	34
Suid-Amerika	40	25	17	18	5
Afrika	259	293	150	79	55
Res van Wêreld	4	2	0	0	2
Totaal	445	439	297	264	245

Tabel 8-1: Jaarlikse seerowery en gewapende aanvalle ter wêreld [37].

Tipe skepe	2010	2011	2012	2013	2014
Houerskepe	74	62	39	30	20
Droeë grootmaat	80	100	66	53	55
Algemene vrag	63	35	15	17	14
Chemiese produkte	96	100	76	82	86
Ru-olie	43	61	32	39	24
Ander	89	81	69	43	46
Totaal	445	439	297	264	245

Tabel 8-2: Jaarlikse seerowery en gewapende aanvalle ter wêreld volgens tipe skepe [37].

Verwysings

- [1] R AGARWAL, O ERGUN, 2008, *Ship scheduling and network design for cargo routing in liner shipping*, Transportation Science, (42): 175-196.
- [2] H BENDALL, A STENT, 2001, *A scheduling model for a high speed containership service: a hub and spoke short-sea application*, International Journal of Maritime Economics, (3): 262-277.
- [3] T BOFFEY, E EDMOND, A HINXMAN, C PURSGLOVE, 1979, *Two approaches to scheduling container ships with an application to the north atlantic route*, Journal of the Operational Research Society, (23): 413-425.
- [4] S CHO, A PERAKIS, 1996, *Optimal liner fleet routing strategies*, Maritime Policy and Management, (23): 249-259.
- [5] K FAGERHOLT, 1999, *Optimal fleet design in a ship routing problem*, International Transactions in Operational Research, (6): 452-464.
- [6] K FAGERHOLT, 2004, *Designing optimal routes in a liner shipping problem*, Maritime Policy and Management, 31(4): 259-268.
- [7] K FAGERHOLT, H LINDSTAD, 2000, *Optimal policies for maintaining a supply service in the Norwegian sea*, Omega, (28): 269-275.
- [8] F KYDLAND, 1969, *Simulation of Liner Operations*, Institute for Shipping Research.
- [9] D LANE, T HEAVER, D UYENO, 1987, *Planning and scheduling for efficiency in liner shipping*, Maritime Policy and Management, (14): 109-125.
- [10] M MOURÁO, M PATO, A PAIXÁO, 2001, *Ship assignment with hub and spoke constraints*, Maritime Policy and Management, (29): 135-150.
- [11] C OLSON, E SORENSON, W SULLIVAN, 1969, *Medium-range scheduling for a freighter fleet*, Operations Research, (17): 565-582.
- [12] R PESENTI, 1995, *Hierarchical resource planning for shipping companies*, European Journal of Operational Research, (86): 91-102.
- [13] K RANA, R VICKSON, 1991, *Routing container ships using langrangean relaxation and decomposition*, Transportation Science, 25(3): 201-214.
- [14] L REINHARDT, B KALLEHAUGE, A NORRELUND, A OLSEN, 2007, *Network design models for container shipping*, Technical report, Centre for Traffic and Transport, Technical University of Denmark.

- [15] E SAMBRACOS, J PARAVANTID, C TARANTILIS, C KIRANOUDIS, 2004, *Dispatching of small containers via coastal freight liners: The case of the Norwegian sea*, European Journal of Operational Research, (152): 365-381.
- [16] K SHINTANI, A IMAI, E NISHIMURA, S PAPADIMITRIOU, 2007, *The container shipping network design problem with empty container repositioning*, Transportation Research, (43): 39-59.
- [17] M SIGURD, N ULSTEIN, B NYGREEN, D RYAN, 2007, *Ship scheduling with recurring visits and visit separation requirements*, Springer, Chapter 8.
- [18] D RONEN, 1983, *Cargo ships routing and scheduling: Survey of models and problems*, European Journal of Operational Research, (12): 119-126.
- [19] INTERNATIONAL CHAMBER OF SHIPPING, 2015, *Representing the Global Shipping Industry*, [Aanlyn], [Besoek op 7 Julie 2015], Beskikbaar op <http://www.ics-shipping.org>.
- [20] K FAGERHOLT, *A decision support methodology for strategic planning in maritime transportation*, Omega-International Journal of Management Science, 2010, bl 465-474.
- [21] M. CHRISTIANSEN, K. FAGERHOLT, B. NYGREEN, D. RONEN, *Maritime transportation in Handbooks in Operations Research and Management Science*, Volume 14, 2007, bl 189-284.
- [22] UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPEMENT, *Review of Maritime Transport*, 2014, United Nations.
- [23] AUSTRALIAN NATIONAL LINE, 2015, *About Us*, [Aanlyn], [Besoek op 20 Februarie 2015], Beskikbaar op <http://www.anl.com>.
- [24] CMA CGM GROUP, 2015, *Our Commitment*, [Aanlyn], [Besoek op 20 Februarie 2015], Beskikbaar op <http://www.cma-cgm.com>.
- [25] PORT WORLD DISTANCE CALCULATOR, 2015, *Distance calculation*, [Aanlyn], [Besoek op 23 Februarie 2015], Beskikbaar op <http://www.portworld.com>.
- [26] WORLD SHIPPING COUNCIL, 2015, *How Liner Shipping Works*, [Aanlyn], [Besoek op 20 Februarie 2015], Beskikbaar op <http://www.worldshipping.org>.
- [27] CLEAN NORTH SEA SHIPPING, 2014, *Quantification of the current contribution of ships to air pollution*, International Survey, bl 11-32.
- [28] K FAGERHOLT, 1999, *Optimal fleet design in a ship routing problem*, International Transactions in Operational Research, 6(5):453-464.
- [29] K FAGERHOLT, 2001, *Ship scheduling with soft time windows: An optimisation based approach*, European Journal of Operational Research, 131(3):259-268.
- [30] K KJELDSSEN, 2011, *Routing and Scheduling in Liner Shipping*, Ph.D., Aarhus University, Denmark.
- [31] WHAT THE WORLD NEEDS TO WATCH, 2015, *Atmospheric CO₂*, [Aanlyn], [Besoek op 28 September 2015], Beskikbaar op <http://www.co2now.org>.
- [32] H PSARAFTIS, C KONTOVAS, N KAKALIS, 2009, *Speed reduction as an emission reduction measure for fast ships*, 10th International Conference on Fast Sea Transportation, Athens, Greece.
- [33] T NOTTEBOOM, P CARRIOU, 2009, *Fuel surcharge practices of container shipping lines*, International Association of Maritime Economists (IAME) Conference, Copenhagen, Denmark.

-
- [34] H PSARAFTIS, C KONTOVAS, *CO₂ emmssions statistics for the world fleet*, 2009, National Technical University of Athens, Greece.
 - [35] INTERNATIONAL MONETARY FUND, 2015, *World Economic Outlook Update Press Conference*, [Aanlyn], [Besoeek op 26 Desember 2015], Beskikbaar op <http://www.imf.org/>.
 - [36] INTERNATIONAL MARINE WEATHER, 2015, *Wave Heights and Direction*, [Aanlyn], [Besoeek op 14 Januarie 2016], Beskikbaar op <http://www.marinewaypoints.org/>.
 - [37] ICC INTERNATIONAL MARITIME BEREAU, *Piracy and Armed Robbery Against Ships Annual Report*, 2014.
 - [38] D RONEN, *Cargo ships routing and scheduling: Survey of models and problems*, European Journal of Operational Research, 12(2):119-126 1983.
 - [39] C EICKMANN, *Environmental impact calculation of transport*, Institute of Transport, Railway Construction and Operation, University of Hanover.
 - [40] E VAN RYNBACH, K BRIERS, N DELGATTO, *Analysis of Fuel Alternatives for Commercial Sips in the ECA Era*, Revision 4, 2015.
 - [41] CONTAINER-TRANSPORTATION, 2015, *Containership generations*, [Aanlyn], [Besoeek op 23 Februarie 2015], Beskikbaar op <http://www.container-transportation.com>.
 - [42] LINGO 11.0, [Sagteware Program], Beskikbaar op <http://lingo.software.informer.com/11.0>.
 - [43] MICROSOFT OFFICE, [Sagteware Program], Beskikbaar op <https://www.microsoftstore.com>.

BYLAE A

ANL Handelsroetes

ANL se diensnetwerk, bestaande uit 35 handelsroetes, word in die onderstaande tabel opgesom. Die tabel dui aan hoeveel houters op elke handelsroete vervoer word en wat die gewig van die houters in ton is. Dit dui verder aan die aantal van elke tipe skip wat op elke handelsroete sirkuleer om die diensvereiste van kliënte op die handelsroete na te kom. Laastens dui die opsomming aan in watter volgorde hawens besoek word en wat die afstand tussen hawens in dae is.

AANA		AAX		ACE		ANZEX	
Houers en gewig							
25 978 houers 311010 ton		25 098 houers 339 229 ton		33 112 houers 409 086 ton		30 294 houers 363 627 ton	
Bote							
Panamax 6		Panamax 5		Post Panamax 6		Panamax 7	
Diensvereiste							
7 Dae		7 Dae		7 Dae		7 Dae	
Roete							
Yokohama	1	Singapore	1	Kaohsiung	1	Hong Kong	1
Osaka	2	Port Klang	2	Hong Kong	2	Keelung	3
Busan	3	Fremantle	10	Shanghai	5	Shanghai	4
Shanghai	5	Sydney	17	Shekou	8	Ningbo	5
Ningbo	6	Melbourne	19	Hong Kong	8	Chiwan	7
Kaohsiung	8	Adelaide	21	Sydney	23	Kaohsiung	78
Melbourne	24	Fremantle	26	Melbourne	25	Brisbane	21
Sydney	26	Singapore	35	Brisbane	29	Auckland	25
Brisbane	28			Kaohsiung	42	Chalmers	28
Yokohama	42					Lyttelton	29
						Napier	30
						Taurange	31
						Hong Kong	49

APR		APX		AUS		BEX	
Houers en gewig							
2 156 houers 31 356 ton		618 houers 7 734 ton		14 522 houers 197 279 ton		84 388 houers 992 306 ton	
Bote							
Feeder 2		Small Feeder 1		Feedemax 6		Post Panamax 11	
Diensvereiste							
16 Dae		17 Dae		14 Dae		7 Dae	
Roete							
Port Klang 1		Moresby 1		Rotterdam 1		Dalian 1	
Singapore 2		Lae 4		Tilbury 1		Tianjin 2	
Jakarta 4		Brisbane 11		Dunkerque 1		Kwangyang 4	
Lae 15		Moresby 17		Le Havre 1		Busan 4	
Rabaul 17				New York 8		Shanghai 6	
Moresby 20				Savannah 9		Ningbo 7	
Port Klang 32				Kingston 11		Chiwan 10	
				Cartagena 20		Yantian 10	
				Papeete 40		Pelepas 16	
				Noumea 48		Izmit 40	
				Sydney 50		Istanbul 40	
				Melbourne 51		Constanta 41	
				Tauranga 55		Odessa 43	
				Napier 56		Ilyichevsk 43	
				Lyttelton 57		Istanbul 44	
Manzanillo 72				Port Said 46			
Savannah 75				Port Klang 65			
Philadelphia 76				Singapore 66			
Rotterdam 84		Dalian 77					

BOHAI		CAGEMA		CIMEX		COLUMBUS	
Houers en gewig							
63 364 houers 741 315 ton		3 354 houers 41 334 ton		94 700 houers 1 035 098 ton		135 264 houers 1 704 320 ton	
Bote							
Post Panamax 4		Feeder 3		New Panamax 7		Post Panamax 16	
New Panamax 2							
Diensvereiste							
7 Dae		7 Dae		7 Dae		7 Dae	
Roete							
Tianjin	1	New York	1	Tianjin	1	Yokohama	1
Dalian	2	Savannah	4	Dalian	2	Shanghai	4
Qingdao	3	Miami	5	Busan	4	Ningbo	5
Shanghai	4	Kingston	8	Shanghai	5	Hong Kong	7
Long Beach	23	Point Lisas	12	Ningbo	6	Yantian	7
Oakland	24	Port of Spain	12	Shekou	8	Pelepas	11
Tianjin	42	Rio Haina	15	Port Klang	14	New York	42
		New York	21	Khor Fakken	25	Norfolk	43
				Jebel Ali	26	Savannah	44
				Khalifa	26	Pelepas	77
				Port Klang	37	Hong Kong	81
				Nansha	43	Yantian	81
				Tianjin	49	Shanghai	84
						Busan	85
						Seattle	99
				Vancouver	99		
				Yokohama	112		

EPIC		FAL 1		FAL 2		FAL 3	
Houers en gewig							
52 440 houers 662 298 ton		154 214 houers 1 762 054 ton		131 810 houers 1 544 113 ton		124 018 houers 1 577 434 ton	
Bote							
Post Panamax 8		New Panamax 8 ULCV 3		Post Panamax 3 New Panamax 8		New Panamax 12	
Diensvereiste							
7 Dae		7 Dae		7 Dae		7 Dae	
Roete							
Southampton 1	Southampton 1	Ningbo 1	Hamburg 1				
Rotterdam 2	Hamburg 2	Shanghai 2	Bremerhaven 1				
Hamburg 3	Bremerhaven 2	Yantian 5	Rotterdam 2				
Antwerp 4	Rotterdam 3	Port Klang 11	Zeebrugge 2				
Dunkerque 4	Zeebrugge 3	Rotterdam 39	Southampton 3				
Le Havre 4	Le Havre 4	Hamburg 40	Le Havre 3				
Port Said 16	Malta 11	Antwerp 41	Beirut 14				
Djibouti 21	Khor Fakken 23	Le Havre 42	Jeddah 17				
Khor Fakken 27	Jebel Ali 24	Jeddah 55	Port Klang 31				
Jebel Ali 28	Port Klang 35	Port Klang 69	Singapore 32				
Qasim 31	Ningbo 42	Shekou 75	Tianjin 41				
Nhava Sheva 33	Shanghai 43	Ningbo 77	Dalian 42				
Mundra 34	Xiamen 45		Busan 44				
Jeddah 42	Hong Kong 46		Qingdao 46				
Malta 48	Chiwan 46		Shanghai 47				
Tanger 52	Yantian 46		Yantian 50				
Southampton 56	Port Klang 51		Singapore 55				
	Tanger 73		Port Klang 56				
	Southampton 77		Le Havre 82				
			Hamburg 84				

FAL 6		FAL 7		INDAMEX		JAX	
Houers en gewig							
160 786 houers 1 728 831 ton		143 695 houers 1 633 073 ton		39 110 houers 456 794 ton		17 811 houers 279 496 ton	
Bote							
New Panamax 11 ULCV 1		New Panamax 11		Panamax 7 Post Panamax 1		Panamax 5	
Diensvereiste							
7 dae		7 Dae		7 Dae		7 Dae	
Roete							
Tianjin	1	Ningbo	1	Qasim	1	Jakarta	1
Kwangyang	3	Shanghai	2	Nhava Sheva	3	Port Klang	4
Busan	3	Xiamen	4	Mundra	4	Singapore	5
Qingdao	5	Yantian	5	Damietta	13	Brisbane	18
Ningbo	7	Chiwan	5	New York	28	Sydney	20
Shanghai	8	Singapore	10	Norfolk	29	Melbourne	22
Singapore	15	Sines	36	Savannah	30	Adelaide	24
Port Klang	16	Le Havre	39	Charleston	30	Jakarta	35
Felixstowe	42	Rotterdam	40	Port Said	47		
Zeebrugge	42	Antwerp	40	Jeddah	49		
Antwerp	42	Dunkerque	40	Qasim	56		
Rotterdam	42	Felixstowe	40				
Gioia	50	Sines	44				
Jebel Ali	63	Port Klang	69				
Singapore	74	Singapore	70				
Hong Kong	79	Yantian	75				
Tianjin	84	Chiwan	75				
		Xiamen	76				
		Ningbo	77				

KIX		MANHATTAN		MEX		MEX 3	
Houers en gewig							
11 918 houers 246 071 ton		42 242 houers 518 155 ton		101 571 houers 1 280 938 ton		77 855 houers 1 077 212 ton	
Bote							
Feedemax 3		Panamax 10		Post Panamax 9		Post Panamax 10	
Panamax 3				New Panamax 2			
Diensvereiste							
7 Dae		7 Dae		7 Dae		7 Dae	
Roete							
Singapore 1		Xiamen 1		Valencia 1		Xiamen 1	
Port Klang 2		Yantian 2		Barcelona 2		Shanghai 3	
Brisbane 16		Ningbo 4		Fos 3		Ningbo 4	
Sydney 18		Shanghai 5		Malta 5		Yantian 6	
Auckland 23		New York 37		Port Said 8		Nansha 6	
Tauranga 23		Norfolk 38		Salalah 15		Pelepas 11	
Brisbane 28		Savannah 39		Khor Fakken 18		Port Klang 12	
Singapore 42		Xiamen 70		Port Klang 29		Jeddah 27	
				Singapore 30		Port Said 30	
				Qingdao 39		Malta 33	
				Busan 41		Genoa 35	
				Shanghai 43		La Spezia 35	
				Ningbo 44		Algeciras 38	
				Nansha 47		Tanger 38	
				Yantian 47		Malta 42	
				Chiwan 47		Port Said 45	
				Pelepas 52		Port Klang 63	
				Port Klang 53		Singapore 64	
				Malta 73		Xiamen 70	
				Valencia 77			

NEMO		PEARL RIVER		PERKINS		PEX 3	
Houers en gewig							
53 381 houers 633 065 ton		69 144 houers 785 358 ton		1 854 houers 15 399 ton		55 186 houers 721 844 ton	
Bote							
Feedemax	1	New Panamax	6	Small Feeder	2	Panamax	11
Panamax	12						
Diensvereiste							
7 Dae		7 Dae		9 Dae		7 Dae	
Roete							
Tilbury	1	Fuqing	1	Singapore	1	Hong Kong	1
Hamburg	2	Xiamen	2	Darwin	10	Chiwan	1
Rotterdam	3	Chiwan	3	Dili	12	Ningbo	3
Le Havre	4	Hong Kong	3	Singapore	18	Shanghai	4
Genoa	11	Yantian	3			Busan	5
Damietta	16	Long Beach	23			Manzanillo	32
Fremantle	37	Oakland	24			Houston	37
Melbourne	42	Fuqing	42			Mobile	38
Sydney	44					Miami	40
Adelaide	47					Jacksonville	41
Singapore	59					Charleston	42
Port Klang	60					Vostochny	72
Chennai	65					Hong Kong	77
Colombo	67						
Cochin	68						
Damietta	79						
Malta	82						
Genoa	84						
Tilbury	91						

PNW		PSW		REX		REX 3	
Houers en gewig							
10 470 houers 144 788 ton		25 859 houers 329 008 ton		27 682 houers 478 051 ton		30 772 houers 369 005 ton	
Bote							
Feedemax 4		Panamax 7		Post Panamax 7		Panamax 7	
Diensvereiste							
13 Dae		7 Dae		7 Dae		7 Dae	
Roete							
Vancouver	1	Melbourne	1	Shanghai	1	Xiamen	1
Tacoma	1	Sydney	3	Ningbo	2	Yantian	2
Oakland	3	Taurange	7	Kaohsiung	2	Shekou	4
Long Beach	4	Papeete	14	Shekou	8	Port Klang	5
Tauranga	22	Oakland	25	Singapore	22	Djibouti	5
Sydney	26	Long Beach	26	Jeddah	25	Jeddah	21
Melbourne	28	Auckland	44	Ain Sukna	26	Sudan	23
Adelaide	29	Melbourne	49	Aqaba	28	Djibouti	27
Auckland	35			Singapore	42	Port Klang	42
Suva	39			Shanghai	49	Xiamen	49
Vancouver	52						

SAS		TTZ		YANGSTE	
Houers en gewig					
27 584 houers 408 024 ton		7 536 houers 96 570 ton		49 604 houers 628 353 ton	
Bote					
Panamax 1 Post Panamax 5		Feedemax 3		Post Panamax 6	
Diensvereiste					
7 Dae		7 Dae		7 Dae	
Roete					
Ningbo 1		Sydney 1		Kaohsiung 1	
Shanghai 2		Melbourne 3		Hong Kong 2	
Xiamen 4		Nelson 9		Xiamen 3	
Shekou 5		Auckland 12		Shanghai 5	
Hong Kong 5		Tauranga 13		Ningbo 6	
Sydney 21		Wellington 15		Long Beach 24	
Melbourne 23		Lyttelton 16		Kaohsiung 42	
Brisbane 27		Sydney 21			
Ningbo 42					

BYLAE B

Elektroniese gids

1. Die omgewingvriendelikste ontwerp van handelsroete met

- huidige vereiste kapasiteitsbenutting,
- 1% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 2% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 3% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 4% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 5% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 6% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 7% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 8% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 9% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 10% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 11% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 12% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 13% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 14% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 15% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 16% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 17% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 18% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar,
- 19% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar en met
- 20% daling in kapasiteitsbenutting van vloot toelaatbaar.

2. Die skedulering van skepe op al die handelsroetes.